

**Universitat Autònoma de Barcelona**

Trabajo de fin de grado / Ingeniería Química



# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO



**Tutor: Josep Anton Torà**

**Alba González, Antonio**

**Aynes Riba, Albert**

**González Lafita, Óscar**

**Martínez Rabert, Eloi**

**Santos López, Jonatan**

**UAB**

Junio 2017, Bellaterra (Barcelona)



# Capítulo 1

## Especificaciones del proyecto



# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

**UAB**



## ÍNDICE

1.1 Definición del proyecto .....	7
1.1.1. Bases del proyecto .....	7
1.1.2. Alcance del proyecto .....	8
1.1.3. Localización de la planta.....	8
1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela .....	10
1.1.3.2. Comunicaciones de la planta .....	12
1.1.3.3. Características físicas de la zona.....	14
1.1.4. Nomenclatura de sustancias .....	18
1.2. Descripción del proceso de fabricación.....	19
1.2.1. Proceso de producción de Monoclorobenceno .....	19
1.2.2. Diagrama de bloques.....	26
1.2.3. Características fisicoquímicas de los compuestos .....	27
1.2.3.1. Benceno .....	27
1.2.3.2. Tolueno.....	28
1.2.3.3. Cloro .....	29
1.2.3.4. Monoclorobenceno .....	30
1.2.3.5. Diclorobenceno .....	31
1.2.3.6. Cloruro de hidrogeno .....	32
1.2.3.7. Cloruro férrico .....	34
1.2.3.8. Hidróxido de hierro (III) .....	35
1.2.3.9. Cloruro de sodio .....	36
1.2.3.10. Hidróxido de sodio .....	37
1.2.3.11. Agua.....	38
1.2.4. Aplicaciones del monoclorobenceno .....	39
1.2.5. Aplicaciones del Ácido clorhídrico .....	40
1.3. Constitución de la planta.....	41
1.3.1. Áreas.....	42
1.3.1.1. Descripción detallada de las áreas .....	45
1.3.2. Planificación temporal.....	53
1.3.3. Plantilla de trabajadores .....	54
1.3.4. Construcción de la planta .....	55

1.4.	Especificaciones y necesidades de servicios.....	58
1.4.1.	Agua de refrigeración (Torre).....	58
1.4.2.	Agua de refrigeración (Chiller) .....	61
1.4.3.	Vapor de agua (Caldera).....	62
1.4.4.	Agua descalcificada .....	66
1.4.5.	Agua osmotizada .....	67
1.4.6.	Agua de red .....	68
1.4.7.	Nitrógeno .....	69
1.4.8.	Aire comprimido.....	71
1.4.9.	Electricidad .....	72
1.4.10.	Gas natural .....	76
1.5.	Balance de materia.....	77
1.6.	Proveedores .....	82
1.6.1.	Benceno.....	82
1.6.2.	Cloro .....	83
1.6.3.	Cloruro férrico .....	83
1.6.4.	Hidróxido de sodio .....	83
1.6.5.	Nitrógeno .....	84
1.6.	Bibliografía .....	85

## **1.1 Definición del proyecto**

En este primer apartado se presentan los datos a partir de los cuales se inició el proceso de concepción y diseño de la planta de producción de monoclorobenceno presentado en este proyecto. Conjuntamente con estos datos se presenta también información referente al alcance del proyecto realizado e información sobre la localización en la que se situaría la planta.

Por último, se ha dispuesto un apartado donde se recoge la nomenclatura utilizada en la memoria.

### **1.1.1. Bases del proyecto**

El objetivo principal del proyecto es el diseño, mediante un estudio técnico y económico, de una planta de producción de monoclorobenceno a partir de la halogenación de benceno ( $C_6H_6$ ) mediante el uso de cloro ( $Cl_2$ ). Esta reacción es catalítica y el catalizador utilizado es cloruro férrico ( $FeCl_3$ ).

El objetivo productivo de la planta diseñada es de 60.000 toneladas anuales de monoclorobenceno. Este producto es calificado como comercial, debido a que su contenido en benceno es menor a un 0.05% i contiene un máximo de 0.1% de diclorobenceno. El producto final se presenta a granel en cisternas de 23 toneladas con una pureza en peso del 90%.

Para alcanzar este objetivo, la planta opera 300 días al año y se realizan tres paradas que coinciden con periodos festivos (Semana Santa, Agosto y Navidades). En periodo de operación normal la planta funciona en continuo y durante las 24 horas del día en cinco turnos distribuidos de lunes a domingo.

La planta se sitúa en el polígono industrial “Clot del Bruixot” en el término municipal de Igualada.

Todo el proyecto ha sido elaborado conforme al cumplimiento de la normativa sectorial, con especial atención en términos urbanísticos, medioambientales, protección contra incendios y seguridad e higiene.

### 1.1.2. Alcance del proyecto

El proyecto elaborado contempla los aspectos más importantes del diseño y correcto funcionamiento de la planta a diseñar. A continuación, se muestran en una lista los puntos desarrollados:

- Diseño y especificación de todos los equipos necesarios en el proceso de producción y purificación de monoclorobenceno.
- Diseño y especificación de las áreas de almacenaje de materias primas, producto final y subproductos del proceso. Así como el área de carga y descarga.
- Diseño y especificación de las áreas de servicios.
- Diseño de los sistemas de control, seguridad e higiene y prevención contra incendios.
- Concepción y diseño de las áreas de oficinas, laboratorios, vestuarios y áreas auxiliares como aparcamiento y control de accesos.
- Análisis del impacto medioambiental y estudio del tratamiento de los contaminantes generados.
- Evaluación económica y estudio de la viabilidad de la planta.
- Elaboración de un plan de puesta en marcha y operación del proceso.

### 1.1.3. Localización de la planta

Como ya se ha citado anteriormente, en el apartado **1.1.1. Bases del proyecto**, la parcela en la que se ubicaría la planta se encuentra en el término municipal de Igualada. Este municipio es capital de la comarca en la que se encuentra, Anoia, y esta pertenece a la provincia de Barcelona (Cataluña) al noreste de España. En la **figura 1.1.1** se muestra la localización:





**Figura 1.1.1.** Localización de Igualada en Cataluña.

La comarca en la que se emplazaría la planta cuenta con un mundo empresarial grande, en el que existen diferentes sectores que destacan en el ámbito autonómico y estatal. Estos sectores más destacados son el textil, el papelerero y por último el sector metalúrgico el cual a pesar de no tener una gran visibilidad es el que genera un mayor número de puestos de trabajo.

Este territorio tiene una situación geográfica inmejorable y cuenta con suelos industriales a precios muy competitivos que hacen de él un candidato ideal para ubicar el complejo industrial diseñado.

La Anoia siempre ha sido una comarca con un alto grado de industrialización pero debido a las dificultades pasadas entre los años 2001 y 2007, que provocaron la pérdida de más de 3000 puestos de trabajo en el sector textil y la posterior crisis económica que afectó a todo el territorio español hace de este territorio un punto estratégico para nuevas empresas debido a la recuperación que se está dando y a los esfuerzos que realiza la administración con fin de recuperar la identidad de esta demarcación.

Des de la Unió Empresarial de la Anoia se trabaja en mejorar las conexiones por tierra de la comarca debido a que, aunque la comarca tiene una gran infraestructura de carreteras, desde este organismos quieren mejores conexiones para minimizar la situación que se da diariamente en las carreteras en las que circulan vehículos particulares con vehículos de alto tonelaje con el peligro que eso supone. Otro punto importante que se han marcado desde este colectivo es la formación de profesionales, ofreciendo mano de obra especializada a las empresas que decidan asentarse en la región.

### 1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela

Los parámetros de edificación que se deben cumplir están marcados por la normativa urbanística del polígono industrial y se presentan en la **tabla 1.1.1**:

**Tabla 1.1.1. Parámetros de edificación de la planta.**

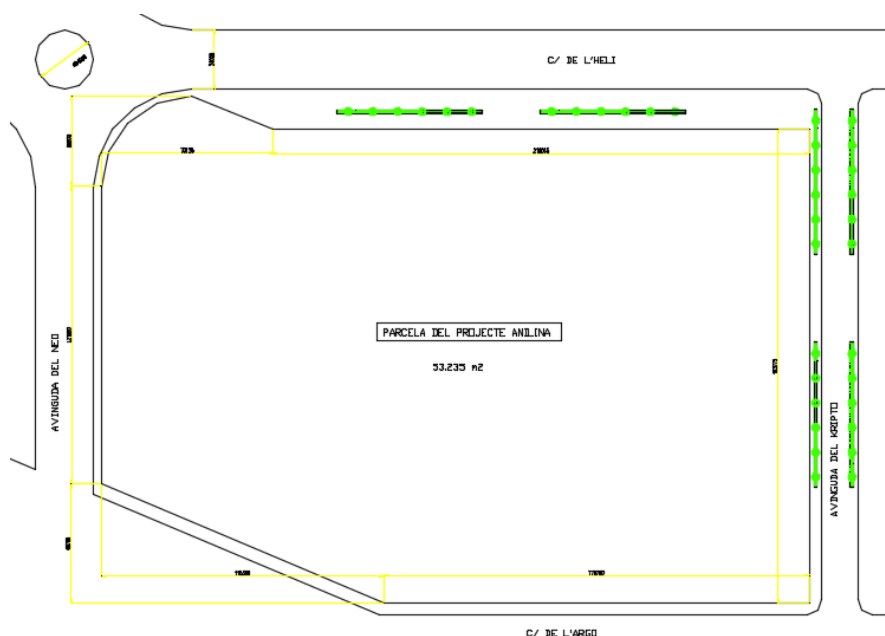
Parámetro	Condición
<b>Edificabilidad</b>	1,5 m <sup>2</sup> techo/m <sup>2</sup> suelo
<b>Ocupación máxima de parcela</b>	75%
<b>Ocupación mínima de parcela</b>	20% de la superficie de ocupación máxima
<b>Retranqueos</b>	5m a viales y vecinos
<b>Altura máxima</b>	16m y 3 plantas excepto en producción justificando la necesidad por el proceso
<b>Altura mínima</b>	4m y 1 planta
<b>Aparcamientos</b>	1 plaza/150 m <sup>2</sup> construidos
<b>Distancia entre edificios</b>	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5m

La parcela asignada para construir la planta tiene una superficie de 53.235 m<sup>2</sup>, el terreno tiene una resistencia de 2 kg/cm<sup>2</sup> a 1,5 m de profundidad sobre gravas. En la **tabla 1.1.2** se muestran los servicios disponibles en la parcela y sus especificaciones:

**Tabla 1.1.2.** Servicios disponibles y especificaciones.

Servicio	Especificación
<b>Energía eléctrica</b>	Conexión desde la línea de 20 kV a pie de parcela
<b>Gas natural</b>	Conexión a pie de parcela a media presión (1,5 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Alcantarillado</b>	Red unitaria en el centro de la calle a una profundidad de 3.5m. Diámetro del colector de 800 mm
<b>Agua de incendios</b>	La máxima presión es de 4 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Agua de red</b>	Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm <sup>2</sup> con un diámetro de 200 mm

En la **figura 1.1.2** se muestra el plano de la parcela en la que se ubicaría la planta de producción:



**Figura 1.1.2.** Plano de la parcela.

#### 1.1.3.2. Comunicaciones de la planta

En este apartado se presenta el análisis elaborado con el fin de identificar y evaluar los accesos e infraestructuras de comunicación con los que cuenta la población en la que se pretende llevar a cabo el proyecto.

#### **Vías terrestres**

Dentro de este primer apartado, vías terrestres, existen dos tipos de infraestructuras que son las conexiones viarias y ferroviarias.

En referencia al conjunto de carreteras que permiten la conexión de Igualada con localidades colindantes y con ciudades con una mayor importancia como Barcelona destaca la autovía A-2.

Esta autovía conocida como la autovía del nordeste, es una de las seis autovías radiales de España y conecta la capital estatal, Madrid, con Barcelona pasando por Guadalajara, Zaragoza y Lérida. La autovía A-2 a su vez forma parte de la carretera E-90 la cual es una carretera europea que comienza en Lisboa y acaba en la frontera de Turquía con Irak, dotando así de conexión internacional a las carreteras que la forman.

Otra de las vías importantes que hacen de Igualada un punto estratégico por sus accesos es el Eix Diagonal, formado por la carretera C-15 y un tramo de la C-37, comunica este municipio con importantes poblaciones como Manresa, Vilafranca del Penedès i Vilanova i la Geltrú. Permitiendo así la conexión directa de las comarcas del interior de Cataluña con el litoral del Garraf.

Además de las vías citadas anteriormente también hay otras carreteras secundarias como la C-241, C-244 y C-37z que permiten la conexión entre Igualada y localidades limítrofes, carreteras no convenientes para el transporte de materiales químicos pero si para el traslado del personal.

En relación con el medio de transporte de los empleados, es importante el acceso ferroviario que permita el desplazamiento rápido y sencillo de aquellos trabajadores que opten por esta alternativa.

Desde la red de Ferrocarriles de la Generalidad de Cataluña (FGC) existe una línea de cercanías R6 y R60 que conecta Plaza España (Barcelona) con Igualada. Ambas líneas comparten inicio y final pero la R60 realiza menos paradas durante su trayecto.

Otra alternativa, impulsada desde la Generalidad de Cataluña, es la línea de autobuses e5 que también conecta Barcelona con Igualada en un trayecto de unos 50 minutos.

#### **Vías marítimas**

El puerto más cercano al municipio de Igualada es el de Barcelona a 70 kilómetros. Este puerto cuenta con 4 terminales especializadas en la recepción y envío de contenedores, con una línea de amarre de 4,5 km hace de este puerto uno de los más importantes de todo el Mediterráneo.

El otro puerto más cercano a Igualada es el de Tarragona, a una distancia de 96 kilómetros, es también uno de los más importantes de la costa mediterránea en el que una gran parte de su actividad está vinculada al transporte de mercancías.

#### **Vías aéreas**

A tan solo 70 kilómetros de Igualada se encuentra el aeropuerto de Barcelona-El Prat, el segundo aeropuerto con mayor importancia internacional del estado y el primero de Cataluña y de la costa mediterránea. Esta conexión aérea dota a todos los municipios vecinos de una situación inmejorable para el transporte de personas y mercancías, de forma rápida y segura, a puntos nacionales e internacionales.

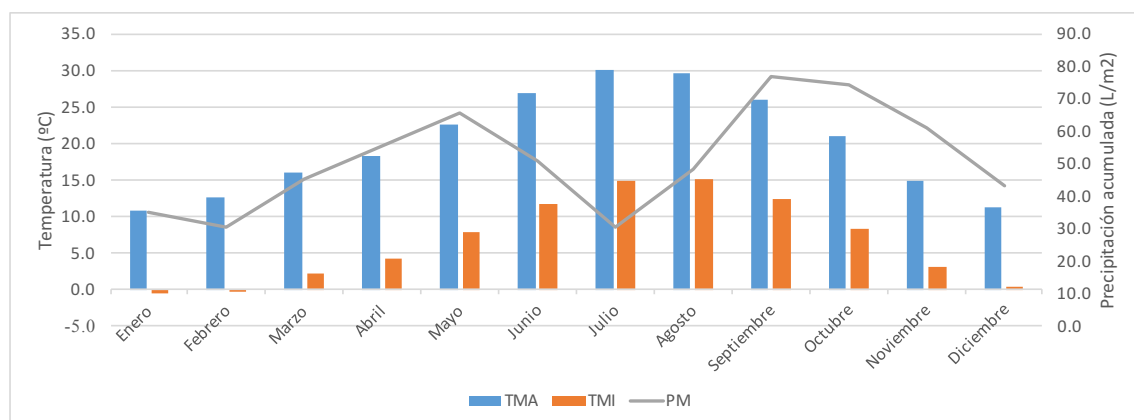
### 1.1.3.3. Características físicas de la zona

#### Climatología

El clima de la zona, en la que se pretende llevar a cabo el proyecto, es de gran importancia debido a su carácter condicionante a la hora de diseñar las diferentes áreas de la planta y la elección de materiales de construcción.

El clima de la zona de Igualada está clasificado como Cfa en la clasificación climática de Köppen, según el servicio meteorológico de Cataluña (Meteocat) este clima se identifica como mediterráneo continental subhúmedo. Se caracteriza por veranos cálidos y húmedos, inviernos fríos con heladas durante toda la estación y precipitaciones relativamente abundantes durante todo el año con una disminución en periodo estival propio de medios mediterráneos.

En la **figura 1.1.3** se muestra en forma de grafico datos de temperatura mínima (TMI), temperatura máxima (TMA) y precipitaciones mensuales (PM). Estos datos han sido calculados a partir de realizar el promedio de datos mensuales recogidos desde el año 1950 al 2015 en la estación meteorológica de Igualada/Òdena. El registro esta presente en la base de datos históricos del Servicio Meteorológico de Cataluña.

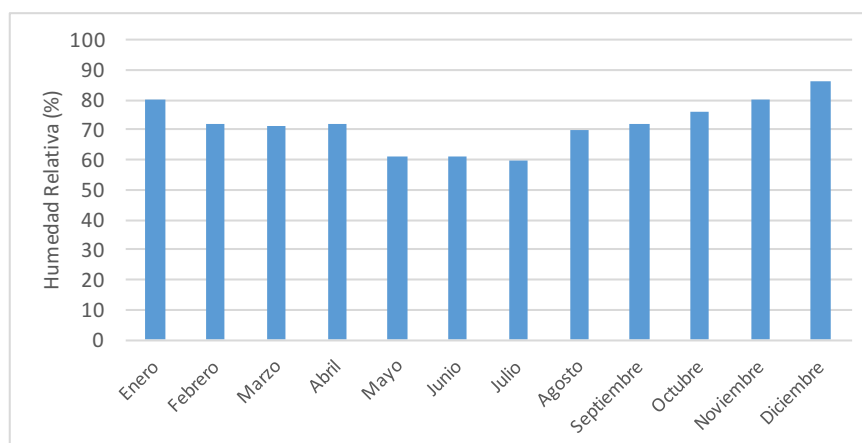


**Figura 1.1.3.** Datos de temperatura máxima, mínima i precipitaciones mensuales históricas de Igualada.

Como se puede observar en la **figura 1.1.3** las temperaturas máximas en invierno no son superiores a los 15 °C mientras que en verano están llegando hasta temperaturas muy próximas a los 30 °C. En referencia a las temperaturas mínimas, en los meses de verano se encuentran entorno a los 15 °C y en los meses de invierno se encuentran por debajo de los 5 °C llegando a ser negativas en el mes de enero. Las estaciones de primavera y otoño, en cuestión de temperaturas, son de transición entre las dos situaciones explicadas anteriormente.

Respecto a las precipitaciones acumuladas mensualmente, se puede observar como a pesar de haber durante todo el año, es en las estaciones de primavera y otoño en las que se registran un mayor volumen. Como se ha comentado previamente, en la estación de verano se registran los valores más bajos, característica representativa de zonas mediterráneas.

En la **figura 1.1.4** se muestran los datos de humedad relativa (HR) mensual de la estación meteorológica situada en Òdena, estos datos se han obtenido del anuario meteorológico del año 2015 elaborado por el Servicio Meteorológico de Cataluña.



**Figura 1.1.4.** Datos de humedad relativa del año 2015.

Como se puede observar en la **figura 1.1.4** la humedad relativa en la zona se encuentra en un rango entre el 60 y el 86 %. El promedio anual es del 72 %, por lo que se puede corroborar la clasificación, anteriormente hecha, de zona húmeda. Esta característica será crucial en la elección de materiales debido a la posible corrosión y en el diseño de los equipos que hagan uso de aire atmosférico.

El ultimo parámetro climático analizado en este apartado es el viento, según el anuario meteorológico de la estación de Òdena del 2015, la velocidad media anual es de 2.2 m/s, medida realizada a 10 m, y la dirección dominante es oeste.

### Geología y Geomorfología

El municipio de Igualada está situado al SE de la Depresión Central Catalana, esta está limitada por tres unidades montañosas:

- Pirineos (N)
- Cadenas Costeras Catalanas (S i SE)
- Sistema Ibérico (O)

Los materiales que conforman la Depresión Central Catalana son únicamente terciarios, dentro de estos materiales se hace la distinción entre paleógenos que son los materiales más antiguos y neógenos que son los mas modernos. En la zona de Igualada los componentes que conforman el terreno son paleógenos en su mayoría.

La gran depresión en la que se sitúa Igualada ,se formó hace unos 50 millones de años debido al choque entre las placas Euroasiática y Ibérica. Este hecho provoco la inundación del terreno, con agua procedente del océano Atlántico, dando lugar al desarrollo de un ecosistema marino.

Debido a este suceso y a la posterior acción de los ríos que arrastraban guijarros, grabas, arenas y arcillas a la depresión esta fue aumentando su nivel hasta el punto de quedar totalmente seca. Es por esto que en la actualidad el terreno esta formado por materiales típicos de entornos marítimos y sedimentarios.

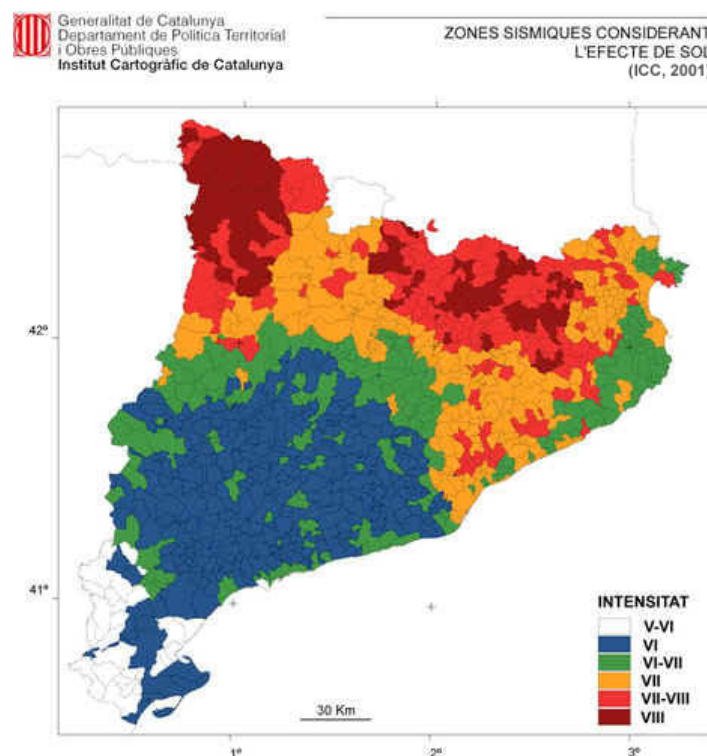


Una característica típica de la zona es la falta de permeabilidad del terreno, esta situación se debe a las rocas que lo componen, ya que, arcillas y rocas sedimentarias formadas por arcillas y carbonato de calcio son prácticamente impermeables.

### Sismología

Este apartado tiene una gran importancia ya que el riesgo de sufrir un terremoto y los daños que este puede ocasionar, tanto materiales como personales, puede provocar el cierre de la empresa.

En la **figura 1.1.5** se muestra un mapa elaborado por el instituto cartográfico y geológica de Cataluña donde se clasifican por colores las diferentes zonas sísmicas y sus intensidades:



**Figura 1.1.5.** Mapa de sismología de Cataluña.

El municipio de Igualada se encuentra en la zona azul correspondiente a una intensidad de VI en la escala MSK. Un terremoto de estas características es catalogada como fuerte y es percibido tanto por la población que se encuentra en el interior de edificios como en el exterior. Pequeños objetos pueden caerse y mobiliario puede sufrir un leve desplazamiento pero no se llegarían a apreciar daños en edificios de nueva construcción con materiales más resistentes a los utilizados antiguamente.

En Cataluña desde el año 1300 al 2005 únicamente se registraron 48 terremotos con una intensidad entre VI y VII, por tanto, aunque este peligro es real y se debe de tener en cuenta para minimizar los posibles daños en la situación de que ocurriera, tampoco se trata de un dato alarmante.

#### 1.1.4. Nomenclatura de sustancias

En este apartado se presenta en forma de tabla la nomenclatura que ha sido utilizado en esta memoria para hacer referencia a las sustancias utilizadas en el proceso. Esta se presenta en la **tabla 1.1.3**:

**Tabla 1.1.3.** Nomenclatura de compuestos.

Compuesto	Nomenclatura
Benceno	Bz
Tolueno	TI
Cloro	Cl <sub>2</sub>
Cloruro férrico	FeCl <sub>3</sub>
Monoclorobenceno	MCB
Diclorobenceno	DCB
Para-Diclorobenceno	p-DCB
Meta-Diclorobenceno	m-DCB
Orto-Diclorobenceno	o-DCB
Ácido Clorhídrico / Cloruro de hidrogeno	HCl
Hidróxido de sodio	NaOH
Hidróxido de hierro (III)	Fe(OH) <sub>3</sub>
Agua	H <sub>2</sub> O

## 1.2. Descripción del proceso de fabricación

En este apartado se describe en primer lugar, etapa a etapa, el proceso escogido para la obtención de Monoclorobenceno. Esta explicación ha sido redactada conforme el diagrama de proceso que se encuentra en el apartado **1.5. Balance de materia** y en el **Capítulo 10. Diagramas y planos**.

Seguidamente se presenta el diagrama de bloques elaborado, que con la información previa presentada, facilitará el entendimiento del proceso y las diferentes áreas en las que este se divide.

Una vez realizada la explicación sobre el proceso de producción, se ha elaborado un apartado en el que se mencionan y describen las características fisicoquímicas de los componentes implicados. Por último, se comentan las principales aplicaciones del producto principal, monoclorobenceno, y del ácido clorhídrico y tolueno, subproductos generados, que también se comercializarán.

### 1.2.1. Proceso de producción de Monoclorobenceno

El proceso de fabricación, del proyecto realizado, se basa en la halogenación del benceno a partir de cloro, reacción catalizada por cloruro férrico. Ambos reactivos son adquiridos mediante proveedores con unas especificaciones concretas.

En primer lugar, hay dos etapas en las que se acondicionan los reactivos, la primera de estas es la purificación del benceno. El reactivo que se encuentra almacenado en el área A-100, tiene impurezas de tolueno las cuales se deben eliminar antes de empezar el proceso de producción con la finalidad de evitar la contaminación y posibles problemas generados de su presencia. Por tanto, esta primera etapa consiste en una torre de destilación de relleno en la que se obtiene benceno con una pureza del 100%, este corriente (3) se incorpora mediante un mezclador estático al corriente (11).

En referencia al otro reactivo, el cloro, su almacenamiento en el área A-200 se realiza bajo presión, en el que el cloro se encuentra en estado líquido. Es por esto, que es necesaria su evaporación antes de inyectarlo en los reactores. Esta evaporación se realiza haciendo uso de un intercambiador de carcasa y tubos en el que se consigue la vaporización y acondicionamiento de la temperatura y posteriormente con una válvula reductora se regula la presión para su entrada en los reactores.

Una vez acondicionados los reactivos, estos se envían al área A-300, que es en la que se encuentran los reactores, el mezclador en el que se dosifica, mediante una dosificadora automatizada de sólidos, el catalizador en el corriente de benceno que posteriormente se introduce en los reactores (5) y el tanque en el que se almacena el catalizador. En este proyecto se ha optado por el uso de tres reactores, en paralelo, con las mismas especificaciones y que operan de forma continua, isoterma y son agitados de forma mecánica. Las condiciones de operación respecto a la presión y temperatura son de 2.4 barg y 55 °C respectivamente. La reacción que se da en los reactores es exotérmica por lo que estos cuentan con un sistema de refrigeración tipo media caña.

Debido a la formación de cloruro de hidrogeno como producto de las reacciones que se dan en los reactores, y a su estado gaseoso en las condiciones de operación, se obtienen dos salidas una en forma líquida, corriente (6) y otra gaseosa, corriente (17).

La salida gaseosa del reactor está compuesta principalmente por cloruro de hidrogeno pero también contiene orgánicos que se han vaporizado durante la reacción y una pequeña cantidad de cloro que no ha reaccionado. Este corriente debe ser tratado para que finalmente se pueda emitir a la atmosfera.

En primer lugar, se realiza una absorción, en una columna de relleno, en la que se pone en contacto el corriente de salida, en forma gas, con un corriente líquido (16') que esta compuesto por monoclorobenceno, diclorobenceno y una pequeña parte de benceno.



Este corriente es una recirculación interna que se hace en el proceso y que se extrae en un punto de la purificación del producto líquido de la reacción, concretamente de la salida de la torre de recuperación de benceno.

De realizar esta absorción hay dos corrientes de salida, el líquido (20) en el que se han absorbido los compuestos orgánicos que anteriormente estaban en la fase gaseosa y el propio corriente gaseoso (21).

El corriente, gaseoso, ahora compuesto en su mayoría en cloruro de hidrogeno y muy pocas trazas de orgánicos es enviado a un separador líquido-gas en el que se consigue reducir aun más la cantidad de compuestos orgánicos, obteniendo así un corriente gaseoso (24) con una mayor pureza. El corriente líquido (22) generado en el separador líquido-gas es enviado conjuntamente con el corriente anteriormente nombrado (20) a la entrada del separador líquido-gas utilizado para reducir la cantidad de cloruro de hidrogeno de la fase líquida obtenida de los reactores, su mezcla se realiza mediante un mezclador estático.

El nuevo corriente (24), gaseoso, obtenido del separador líquido-gas anteriormente explicado se separa en dos corrientes por cuestión de necesidades energéticas, al igual que ocurre con los reactores. Si no se divide en diferentes equipos no sería posible refrigerar de forma viable y eficiente el calor generado, si el tratamiento de absorción que se realiza a posteriori se realizase sin dividir los caudales el calor generado por la absorción de cloruro de hidrógeno en agua provocaría un aumento tan elevado de la temperatura que provocaría la evaporación del absorbente.

Estos dos nuevos corrientes (24') son enviados a un sistema de absorción con agua formado por dos columnas, una primera de pared húmeda y una segunda de relleno, en esta segunda, es en la que se realiza el primer contacto del agua con el gas saliente de la primera columna.

La primera columna de pared húmeda tiene una estructura de carcasa y tubos en la que por la carcasa circula agua de refrigeración para eliminar el calor generado por la absorción y por los tubos circulan en cocorriente el gas del corriente (24') y el corriente líquido (27) obtenido como salida de la segunda columna de absorción del sistema, compuesta principalmente por agua y una pequeña cantidad de cloruro de hidrogeno absorbido.

En la segunda columna que conforma el sistema, como ya se ha mencionado anteriormente, entra el corriente gaseoso (28) que proviene de la primera columna de absorción y el cual está formado principalmente por cloruro de hidrogeno, una parte de cloro y orgánicos que no se han podido eliminar. Mediante el paso por la columna se consigue absorber la totalidad de cloruro de hidrogeno en el corriente de agua que circula en contracorriente, corriente (25), y así se obtiene un corriente en forma gas (29) que únicamente está formado por cloro y trazas de orgánicos que se envían a la próxima etapa del tratamiento. El corriente (27) tras su paso por la columna es enviado a la primera columna para realizar la absorción principal del sistema.

Los corrientes gaseosos que se obtiene de la segunda columna de absorción (29), de cada sistema, se unen para pasar a la siguiente fase de su tratamiento (29'). Esta próxima etapa consiste en un lavador de gases Venturi tipo U. Este equipo funciona de forma en la que mediante una primera etapa en la que se hace pasar el gas y el líquido adsorbente, en este caso hidróxido de sodio al 30%Wt (41), por una garganta en la que mediante la reducción del área de paso se provoca la turbulencia favoreciendo el contacto entre el líquido y el gas, por tanto, favoreciendo la absorción. La segunda etapa consiste en un recipiente en el que se envía tanto el líquido como el gas de la primera etapa y se consigue la separación de las dos fases mediante el aumento del área de paso, provocando una disminución en la velocidad del gas y la separación de las dos fases.

El corriente gaseoso de salida (42) del que mediante este equipo se ha eliminado el cloro presente, pasa a la última etapa de tratamiento que consiste en un reactor térmico en el que mediante temperaturas de 400 °C y un tiempo de residencia de 2 segundos se consigue la eliminación de los orgánicos que quedaban en el corriente. Esta eliminación se debe a la oxidación de los compuestos que se realiza mediante el contacto con aire a altas temperaturas.

La salida líquida del reactor (6) contiene más de un 50%Wt de benceno que no ha reaccionado y que se debe recuperar para su recirculación al inicio del proceso, monoclorobenceno que se debe purificar para su comercialización y trazas de diclorobenceno, cloruro de hidrogeno y cloruro férrico, el catalizador, que se deben eliminar.

El primer paso en la purificación del producto es la eliminación del catalizador del corriente (6') para evitar la formación de incrustaciones y tener problemas de corrosión en el sistema. Este paso consiste en una columna de destilación de platos en la que como residuo se obtiene un corriente líquido (31) formado por diclorobenceno y cloruro férrico que es enviado a tratamiento de catalizador. Como destilado se obtiene un corriente líquido (7) que contiene principalmente benceno, monoclorobenceno y trazas de diclorobenceno, cloro y cloruro de hidrogeno. Esta columna se ha optado por realizar su diseño con platos debido a las posibles incrustaciones que se puedan formar debido a la presencia de cloruro férrico en el corriente de entrada, la limpieza de estas es más sencilla en una columna de platos que en una de relleno.

En referencia al tratamiento del catalizador, el corriente (31) es enviado a un reactor en el que se entra hidróxido de sodio al 10%Wt, corriente (34'), en él se produce la precipitación del cloruro férrico en forma de hidróxido de hierro (III) y la formación de cloruro de sodio.

El corriente (34') anteriormente nombrado se ha obtenido de la mezcla del corriente (32) formado por hidróxido de sodio al 30% en peso, con agua osmotizada (33). El hecho de reducir la concentración de este corriente es debido a la posterior formación de cloruro de sodio en el reactor, si se utiliza directamente el corriente (32) con la concentración con la que el proveedor comercializa este reactivo, la salmuera que se formaría en el reactor tendría una concentración de cloruro de sodio superior al límite de solubilidad y una parte precipitaría. Es por esto que se ha optado por la dilución mediante un mezclador estático del corriente de entrada de hidróxido de sodio en el reactor.

Del reactor de precipitación, se obtiene el corriente líquido (35) el cual es enviado a una centrifuga de tambor macizo y tornillo sinfín en la que se elimina en su totalidad el hidróxido de hierro (III) y se obtiene el corriente (36) formado por agua, cloruro de sodio y diclorobenceno. Debido a la insolubilidad del diclorobenceno en agua se forman dos fases las cuales se separan mediante un separador de fases gravitacional.

De dicho separador se obtiene el corriente (38) el cual está formado por agua y cloruro de sodio y que es enviado al área A-800 para su almacenaje final, posteriormente este será vendido como subproducto. Como salida también del separador se obtiene el corriente (39) el cual es recirculado al proceso de purificación del producto, ya que está formado por diclorobenceno que será necesario en el tratamiento de gases explicado anteriormente.

Volviendo a la purificación del producto, el corriente (7) obtenido de la primera columna de destilación es enviado a un mezclador estático en el que se incorpora el corriente (23) procedente del tratamiento realizado a la salida gaseosa del reactor. El corriente (8) de salida del mezclador entra en un separador líquido-gas en el que se reduce la cantidad de cloruro de hidrogeno del corriente líquido para poder así enviarlo al tratamiento gaseoso y aprovecharlo para generar el subproducto que luego se comercializará, ácido clorhídrico al 32%Wt.





De este separador se obtiene el corriente gaseoso (18) que es enviado a tratamiento de gas del reactor para su incorporación mediante un mezclador estático al corriente (17).

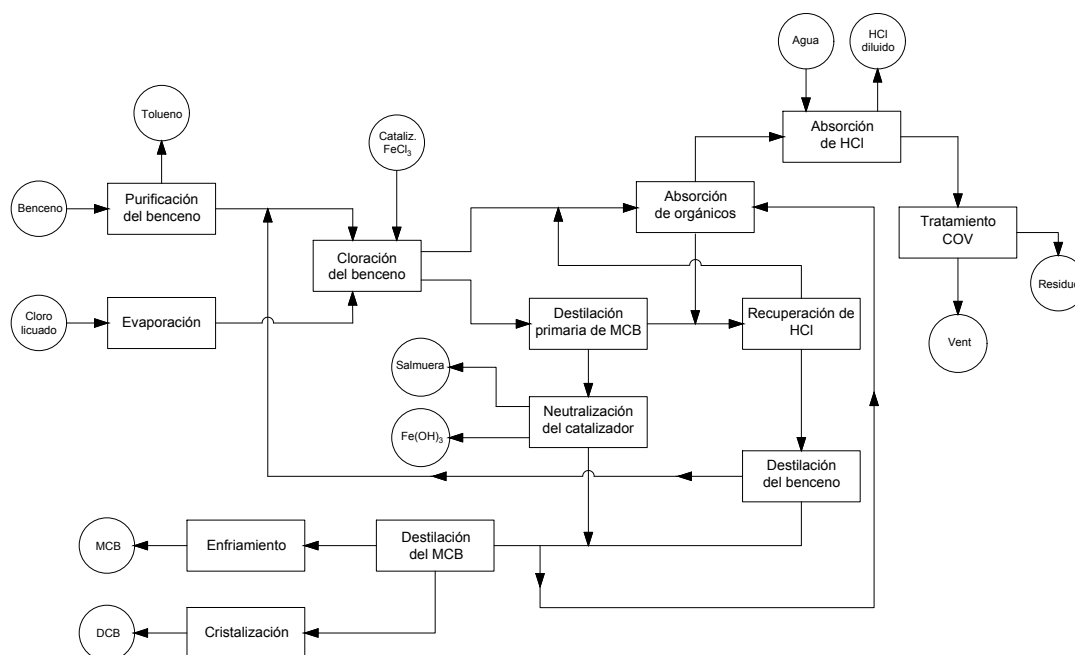
También se obtiene el corriente líquido (9), el cual es enviado a la siguiente columna de destilación en la cual se recupera, por el corriente de destilado (11), el benceno que no ha reaccionado para recircularlo al inicio del proceso productivo. Esta columna es de relleno y se obtiene benceno con una pureza del 99.3% que mediante un mezclador estático se incorpora a la entrada de benceno puro, corriente (3) y se introduce en los reactores. Por el corriente de residuo de la columna (10), se obtiene una mezcla compuesta en su mayoría por monoclorobenceno con impurezas de diclorobenceno y benceno que se debe acabar de purificar para poder comercializar el producto final.

En este corriente (10) es en el que se incorpora el corriente (39') procedente del separador de dos fases gravitacional para poder luego extraer una parte, generando el corriente (16) que se envía al tratamiento de gases como ya se ha explicado al inicio de este apartado con la finalidad de absorber compuestos orgánicos presentes en el gas de salida del reactor. Posteriormente, a la incorporación y extracción de los dos corrientes nombrados, se pasa a la última columna de destilación con la finalidad de conseguir la pureza necesaria en el corriente de monoclorobenceno que permita su comercialización.

De esta columna, de relleno, por el corriente de destilado (14) se obtiene monoclorobenceno con una pureza comercial y por el corriente de residuo (15) se obtiene diclorobenceno con una pureza del 99.7%. Ambos corrientes son enviados al área A-800, el monoclorobenceno para su almacenamiento y el diclorobenceno para su tratamiento y posterior almacenamiento.

### 1.2.2. Diagrama de bloques

En este apartado se presenta el diagrama de bloques elaborado. En este se muestran de forma más generalizada, sin entrar en detalles de equipos ni corrientes, las diferentes fases del proceso de producción con la finalidad de facilitar el entendimiento del proceso. En la **figura 1.2.1** se presenta el diagrama de bloques:



**Figura 1.2.1.** Diagrama de bloques del proceso de producción de monoclоробенцено.

### 1.2.3. Características fisicoquímicas de los compuestos

#### 1.2.3.1. Benceno

El benceno es un compuesto orgánico, hidrocarburo, aromático formado por seis átomos de carbono entrelazados entre sí, a su vez cada átomo de carbono está enlazado a un átomo de hidrógeno. Su fórmula molecular es  $C_6H_6$ . Su principal propiedad química es la gran estabilidad de la molécula, esta únicamente reacciona en condiciones especiales de presión y temperatura y haciendo uso de catalizadores. Respecto a sus propiedades físicas, debido a ser un compuesto no polar es insoluble en agua y muy soluble en otros disolventes no polares. En condiciones normales (1 atm y  $25^{\circ}C$ ) es un líquido incoloro de olor fuerte, similar a quemado, menos denso que el agua. Su temperatura de fusión es de  $6^{\circ}C$  y su temperatura de ebullición es de  $80^{\circ}C$ . Se trata de un compuesto inflamable y tóxico.

En la **tabla 1.2.1** se recogen las propiedades más importantes del benceno:

**Tabla 1.2.1.** Propiedades del benceno.

<b>Fórmula molecular</b>	$C_6H_6$
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	78.1
<b>Punto de ebullición (<math>^{\circ}C</math>)</b>	80
<b>Punto de fusión (<math>^{\circ}C</math>)</b>	6
<b>Densidad relativa líquido respecto al agua</b>	0.88
<b>Densidad relativa vapor respecto al aire</b>	2.7
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a <math>25^{\circ}C</math>)</b>	0.18
<b>Presión de vapor (kPa a <math>20^{\circ}C</math>)</b>	10
<b>Punto de inflamación (<math>^{\circ}C</math>)</b>	-11
<b>Temperatura de autoignición (<math>^{\circ}C</math>)</b>	498

### 1.2.3.2. Tolueno

El tolueno es un compuesto orgánico, hidrocarburo, aromático formado por siete átomos de carbono y ocho átomos de hidrogeno. Este compuesto está formado por un anillo bencénico y un grupo metilo. Su formula molecular es  $C_7H_8$ . Afín al benceno su principal propiedad química es su estabilidad, aunque el hecho de tener un grupo substitutivo en su estructura, lo hace menos estable. Respecto a sus propiedad físicas, el momento dipolar de la molécula ya no es cero, como en el benceno, esto es debido al grupo metilo de su estructura. A pesar de esta polaridad este compuesto es insoluble en agua y soluble en compuestos orgánicos y no polares. En condiciones normales (1 atm y 25°C) es un líquido incoloro con un olor similar a disolventes de pintura y menos denso que el agua. Su temperatura de fusión es de -95 °C y su temperatura de ebullición es de 111 °C. Se trata de un compuesto inflamable y nocivo.

En la **tabla 1.2.2** se recogen las propiedades más importantes del tolueno:

**Tabla 1.2.2.** Propiedades del tolueno.

<b>Formula molecular</b>	$C_7H_8$
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	92.1
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	111
<b>Punto de fusión (°C)</b>	-95
<b>Densidad relativa líquido respecto al agua</b>	0.87
<b>Densidad relativa vapor respecto al aire</b>	3.2
<b>Solubilidad en agua</b>	Ninguna
<b>Presión de vapor (kPa a 20°C)</b>	2.9
<b>Punto de inflamación (°C)</b>	4
<b>Temperatura de autoignición (°C)</b>	480

### 1.2.3.3. Cloro

El cloro, también conocido como dicloro o cloro molecular, se trata de un compuesto formado por dos átomos de cloro unidos mediante un enlace covalente. La fórmula molecular es  $\text{Cl}_2$ . El cloro atómico pertenece al grupo de los halógenos, este grupo se caracteriza por tener una gran reactividad tanto con compuestos orgánicos e inorgánicos, las principales reacciones, en las que interviene, son de sustitución. Respecto a sus propiedades físicas, en condiciones normales (1 atm y 25°C) es un gas de color amarillo-verdoso con un olor muy fuerte y desagradable, respecto al aire tiene una densidad 2.5 mayor. Su temperatura de fusión es de -101 °C y su temperatura de ebullición es de -34.6 °C. Se trata de un compuesto tóxico y peligroso para el medio ambiente.

En la **tabla 1.2.3** se recogen las propiedades más importantes del cloro:

**Tabla 1.2.3.** Propiedades del cloro.

<b>Formula molecular</b>	$\text{Cl}_2$
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	70.8
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	-34.6
<b>Punto de fusión (°C)</b>	-101
<b>Densidad relativa líquido respecto al agua a 20 °C y 6.86 atm</b>	1.4
<b>Densidad relativa vapor respecto al aire</b>	2.5
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a 20°C)</b>	0.7
<b>Presión de vapor (kPa a 20°C)</b>	638

#### 1.2.3.4. Monoclorobenceno

El monoclorobenceno es un compuesto orgánico aromático formado por seis átomos de carbono, cinco átomos de hidrogeno y un átomo de cloro. Este compuesto está formado por un anillo bencénico y un átomo de cloro el cual sustituye a un átomo de hidrogeno, que se encontraba enlazado a un átomo carbono. Su formula molecular es  $C_6H_5Cl$ . Su principal propiedad química, similar al tolueno, el monoclorobenceno por el anillo benzoico que lo conforma tiene una estabilidad alta pero debido a la sustitución del átomo de hidrogeno que se ha realizado para su obtención, a a partir de benceno, dota a este compuesto de una predisposición mucho mayor que el benceno a sufrir una reacción de sustitución electrofílica aromática. Respecto a sus propiedades físicas, debido a ser un compuesto con una polaridad baja es poco soluble en agua y altamente soluble en disolventes orgánicos y no polares. En condiciones normales (1 atm y 25°C) es un líquido incoloro de olor aromático similar a almendras, más denso que el agua. Su temperatura de fusión es de -45 °C y su temperatura de ebullición es de 132 °C. Se trata de un compuesto inflamable, nocivo y peligroso para el medio ambiente.

En la **tabla 1.2.4** se recogen las propiedades más importantes del monoclorobenceno:

**Tabla 1.2.4.** Propiedades del monoclorobenceno.

<b>Formula molecular</b>	$C_6H_5Cl$
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	112.56
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	132
<b>Punto de fusión (°C)</b>	-45
<b>Densidad relativa líquido respecto al agua</b>	1.11
<b>Densidad relativa vapor respecto al aire</b>	3.88
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a 25°C)</b>	0.05
<b>Presión de vapor (kPa a 20°C)</b>	1.17
<b>Punto de inflamación (°C)</b>	27
<b>Temperatura de autoignición (°C)</b>	590

#### 1.2.3.5. Diclorobenceno

El diclorobenceno es un compuesto orgánico aromático formado por seis átomos de carbono, cuatro átomos de hidrogeno y dos átomo de cloro. Este compuesto está formado por un anillo bencénico y dos átomo de cloro los cuales sustituyen a átomos de hidrogeno, que se encontraban enlazados a un átomo carbono. Su formula molecular es  $C_6H_4Cl_2$ . Su principal propiedad química, similar al monoclorobenceno, por el anillo benzoico que lo conforma tiene una estabilidad alta pero debido a la segunda sustitución de un átomo de hidrogeno que se ha realizado para su obtención, a partir de monoclorobenceno, dota a este compuesto de una predisposición mucho mayor que el benceno a sufrir una reacción de sustitución electrofílica aromática. Respecto a sus propiedades físicas, debido a haber sufrido esta segunda sustitución se conforman tres isómeros distintos de este compuesto, según en que posición del anillo bencénico se realice.

Ya que en el caso estudiado la mayor parte del diclorobenceno que se forma es del isómero 1-4 Diclorobenceno (p-Diclorobenceno), este apartado muestra las propiedades de este. Puesto que los átomos de cloro, en este isómero, se encuentran en posiciones opuestas del anillo, el momento dipolar de la molécula es cero. Al ser un compuesto no polar es poco soluble en agua y altamente soluble en disolventes orgánicos y no polares. En condiciones normales (1 atm y 25°C) es un sólido cristalino con una tonalidad blanquecina. Su temperatura de fusión es de 53 °C y su temperatura de ebullición es de 174 °C. Se trata de un compuesto inflamable, nocivo y peligroso para el medio ambiente.

En la **tabla 1.2.5** se recogen las propiedades más importantes del diclorobenceno:

**Tabla 1.2.5.** Propiedades del diclorobenceno.

Formula molecular	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>
Masa molecular (g/mol)	147
Punto de ebullición (°C)	174
Punto de fusión (°C)	53
Densidad relativa líquido respecto al agua	1.2
Densidad relativa vapor respecto al aire	5.08
Solubilidad en agua (g/100ml a 25°C)	0.008
Presión de vapor (kPa a 20°C)	0.17
Punto de inflamación (°C)	66
Temperatura de autoignición (°C)	413

#### 1.2.3.6. Cloruro de hidrogeno

El cloruro de hidrogeno es un compuesto inorgánico formado por un átomo de cloro unido a un átomo de hidrogeno. Su formula molecular es HCl. Su principal propiedad química es su gran solubilidad en agua dando una solución conocida como ácido clorhídrico. Este ácido se trata de un ácido fuerte y es corrosivo para muchos metales. En cambio, sin presencia de agua, el cloruro de hidrogeno es un gas incoloro y que no presenta propiedades ácidas ni corrosivas. Respecto a sus propiedades físicas, como ya se ha dicho anteriormente se trata de un gas muy soluble en agua pero también presenta una alta solubilidad en compuestos orgánicos polares. En condiciones normales (1 atm y 25°C) y sin presencia de agua es un gas incoloro y con un fuerte olor picante y sofocante, se trata de un gas más denso que el aire. Su temperatura de fusión es de -112 °C y su temperatura de ebullición es de -85 °C. Se trata de un compuesto corrosivo para la piel y tóxico. Cuando se encuentra solubilizado en agua, como en el proceso que se comercializa al 32 %Wt, se trata de un líquido más denso que el agua y con una temperatura de fusión de -41 °C y una temperatura de ebullición de 80 °C. Se trata de una solución corrosiva, tanto para piel como metales, y tóxica.



En la **tabla 1.2.6** se recogen las propiedades más importantes del cloruro de hidrogeno en forma gas:

**Tabla 1.2.6.** Propiedades del cloruro de hidrogeno.

<b>Formula molecular</b>	HCl
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	36.46
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	-85
<b>Punto de fusión (°C)</b>	-114
<b>Densidad relativa vapor respecto al aire</b>	1.3
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a 30°C)</b>	67
<b>Presión de vapor (kPa a 20°C)</b>	400

En la **tabla 1.2.7** se recogen las propiedades más importantes del ácido clorhídrico al 32%Wt:

**Tabla 1.2.7.** Propiedades del ácido clorhídrico 32%Wt.

<b>Formula molecular</b>	HCl
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	36.46
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	-41
<b>Punto de fusión (°C)</b>	80
<b>Densidad relativa líquido respecto al agua</b>	1.16

### 1.2.3.7. Cloruro férrico

El cloruro férrico es un compuesto inorgánico, pertenece al grupo de los haluros metálicos, formado por un átomo de hierro que se encuentra unido, mediante enlaces covalentes a tres átomos de cloro. Su fórmula molecular es  $\text{FeCl}_3$ . Su principal propiedad química es su alta reactividad, en contacto con aire húmedo forma una niebla de cloruro de hidrógeno, en relación también a esta característica se clasifica al cloruro férrico como ácido fuerte de Lewis, estos ácidos son utilizados como catalizador en procesos de síntesis en el ámbito de la química orgánica, el caso de este proyecto es un ejemplo. Respecto a sus propiedades físicas, por la naturaleza de los enlaces de la molécula este compuesto es soluble en disolventes orgánicos y en agua, ya que sufre la hidrólisis de sus enlaces dando lugar a una reacción exotérmica. En condiciones normales (1 atm y  $25^\circ\text{C}$ ) y en condiciones anhidras, es un sólido cristalino que según el ángulo en el que se observe tiene una tonalidad de verde a negro. Su temperatura de fusión es de  $37^\circ\text{C}$  y su temperatura de ebullición es de  $315^\circ\text{C}$ . Se trata de un compuesto peligroso para la salud y corrosivo para algunos metales y la piel.

En la **tabla 1.2.8** se recogen las propiedades más importantes del cloruro férrico:

**Tabla 1.2.8.** Propiedades del cloruro férrico.

<b>Fórmula molecular</b>	$\text{FeCl}_3$
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	162.2
<b>Punto de ebullición (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	315
<b>Punto de fusión (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	37
<b>Densidad sólido (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	2.9
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a <math>20^\circ\text{C}</math>)</b>	92
<b>Presión de vapor (Pa a <math>20^\circ\text{C}</math>)</b>	Despreciable

1.2.3.8. Hidróxido de hierro (III)

El hidróxido de hierro (III) es un compuesto inorgánico el cual dependiendo de su estado, varia su formula molecular. Cuando este se encuentra en condiciones anhidras, su formula molecular es  $\text{FeO}(\text{OH})$  en la que el átomo de hierro se encuentra enlazado a un átomo de oxígeno mediante un doble enlace y a otro átomo de oxígeno, mediante un enlace simple, el cual se encuentra enlazado a su vez a un átomo de hidrógeno. En cambio, cuando se encuentra en su forma hidratada su formula molecular es  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ , esta es su forma monohidratada que es la que se da en el proyecto realizado. Respecto a sus propiedades químicas es un compuesto estable y se descompone a óxido férrico en presencia de calor. Respecto a sus propiedades físicas, por la naturaleza de la molécula este compuesto es soluble en ácidos orgánicos e inorgánicos y en solución salina caliente. Por el contrario es insoluble en agua, etanol y éter. En condiciones normales (1 atm y  $25^\circ\text{C}$ ) y en su forma anhidra es un sólido de color rojo o anaranjado, en cambio, cuando se encuentra en su forma monohidratada tiene un color amarillo. En su forma anhidra la temperatura de fusión es de  $135^\circ\text{C}$ . Se trata de un compuesto peligroso para la salud.

En la **tabla 1.2.9** se recogen las propiedades más importantes del hidróxido de hierro (III) anhidro:

**Tabla 1.2.9.** Propiedades del hidróxido de hierro (III) anhidro.

Formula molecular	$\text{FeO}(\text{OH})$
Masa molecular (g/mol)	88.85
Punto de fusión ( $^\circ\text{C}$ )	135
Densidad sólido ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	4.1
Solubilidad en agua (g/100ml a $20^\circ\text{C}$ )	Insoluble

En la **tabla 1.2.10** se recogen las propiedades más importantes del hidróxido de hierro (III) monohidratado:

**Tabla 1.2.10.** Propiedades del hidróxido de hierro (III) anhidro.

<b>Formula molecular</b>	FeO(OH)·H <sub>2</sub> O
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	106.867
<b>Punto de fusión (°C)</b>	135
<b>Densidad sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	3.4
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a 20°C)</b>	Insoluble

#### 1.2.3.9. Cloruro de sodio

El cloruro de sodio es un compuesto iónico formado por un catión sodio (Na<sup>+</sup>) y un anión cloruro (Cl<sup>-</sup>). Respecto a sus propiedades químicas es un compuesto muy estable y que no reacciona de forma espontánea con otros compuestos. Respecto a sus propiedades físicas, por la naturaleza de la molécula este compuesto es altamente soluble en agua y poco o nada soluble en otros líquidos. En condiciones normales (1 atm y 25°C) es un sólido cristalino de color blanco e inodoro. Su temperatura de fusión es de 801°C y su temperatura de ebullición es de 1465°C. Se trata de un compuesto que no presenta ningún peligro.

En la **tabla 1.2.11** se recogen las propiedades más importantes del cloruro de sodio:

**Tabla 1.2.11.** Propiedades del cloruro de sodio.

<b>Formula molecular</b>	NaCl
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	58.4
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	1465
<b>Punto de fusión (°C)</b>	801
<b>Densidad sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.165
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a 20°C)</b>	36

#### 1.2.3.10. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio es un compuesto inorgánico formado por un átomo de sodio unido a un átomo de oxígeno, el cual se encuentra unido a un átomo de hidrógeno. Su fórmula molecular es NaOH. Respecto a sus propiedades químicas es un compuesto que destaca por sus propiedades alcalinas las cuales le dan a este compuesto un importante papel en la industria para su uso como base fuerte. Respecto a sus propiedades físicas, por la naturaleza de la molécula este compuesto es soluble en agua, alcoholes y glicerol. Por el contrario es insoluble en acetona y éter. En condiciones normales (1 atm y 25°C) es un sólido cristalino de color blanco inodoro y higroscópico, propiedad que dota a este compuesto de la capacidad para absorber humedad del medio. Su temperatura de fusión es de 318°C y su temperatura de ebullición es de 1390°C. Se trata de un compuesto corrosivo para algunos metales y para la piel.

En la **tabla 1.2.12** se recogen las propiedades más importantes del hidróxido de sodio:

**Tabla 1.2.12.** Propiedades del hidróxido de sodio.

<b>Fórmula molecular</b>	NaOH
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	39.997
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	1390
<b>Punto de fusión (°C)</b>	318
<b>Densidad sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.13
<b>Solubilidad en agua (g/100ml a 20°C)</b>	109

1.2.3.11. Agua

El agua o también denominado como oxidano por la IUPAC, es un compuesto inorgánico formado por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno. Su fórmula molecular es  $H_2O$ . Respecto a sus propiedades químicas es un compuesto que destaca por ser considerado muchas veces como el solvente universal, ya que disuelve muchos compuestos sólidos, acuosos y gaseosos. El agua debido a la diferencia de electronegatividad que existe entre los átomos de hidrógeno y el de oxígeno es una molecular polar y por tanto tiene la capacidad de disolver con facilidad compuestos iónicos y polares pero en cambio, no disuelve compuestos fuertemente apolares ni es miscible con otros disolventes no polares. Respecto a sus propiedades físicas, y en concordancia a lo explicado referente a su polaridad, esta molécula tiene la capacidad de ordenarse espacialmente para llegar a formar hasta cuatro puentes de hidrógeno con moléculas de agua adyacentes a ella. Este hecho es el que le confiere a este compuesto la propiedad de un alto calor específico, ya que la energía que absorbe es utilizada en primer lugar para romper estos puentes de hidrógeno y por tanto la temperatura aumenta muy lentamente. Este alto calor específico es el que hace de él un fluido térmico muy utilizado en la industria. En condiciones normales (1 atm y  $25^{\circ}C$ ) es un líquido inodoro, incoloro e insípido. Su temperatura de fusión es de  $0^{\circ}C$  y su temperatura de ebullición es de  $100^{\circ}C$ . Se trata de un compuesto que no presenta ningún peligro.

En la **tabla 1.2.13** se recogen las propiedades más importantes del agua:

**Tabla 1.2.13.** Propiedades del agua.

<b>Fórmula molecular</b>	$H_2O$
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	18
<b>Punto de ebullición (<math>^{\circ}C</math>)</b>	100
<b>Punto de fusión (<math>^{\circ}C</math>)</b>	0
<b>Densidad líquido (g/cm<sup>3</sup> a <math>4^{\circ}C</math>)</b>	1
<b>Presión de vapor (kPa a <math>20^{\circ}C</math>)</b>	2.34
<b>Calor específico (J/g·K)</b>	4.184

#### 1.2.4. Aplicaciones del monoclorobenceno

En el pasado este compuesto fue utilizado principalmente para la producción de dicloro difenil tricloroetano (DDT), este compuesto fue ampliamente usado como plaguicida que gracias a su bajo precio y a su alta eficacia para proteger cultivos y prevenir enfermedades de transmisión por vector se comenzó a utilizar a nivel mundial y de manera abundante. En 1962 debido a la publicación del libro “ La primavera silenciosa “ de Rachel Carson en el que advertía del peligro de esta sustancia para la humanidad y el medio ambiente, a principio de la década de los 70 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) prohibió el uso de DDT en productos para la protección de plantas.

A pesar de haberse prohibido el uso del principal producto que se obtenía del monoclorobenceno, este se seguía utilizando y su segundo uso más importante era como intermedio de reacción para la obtención de fenol. Años más tarde, entre la década de los 70-80 cada vez más industria comenzaron a producir fenol a partir de cumeno, provocando de esta manera el desuso del monoclorobenceno y por tanto una disminución aun más notable de su producción.

A nivel internacional, el uso del monoclorobenceno para la obtención de DDT siguió activo hasta que en 1995 se inició un proceso desde las Naciones Unidas en el que se pedía la evaluación de los efectos de una lista inicial de 12 compuestos orgánicos persistentes (COPs) y se tomarán medidas a nivel internacional. En el año 2001 el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes fue firmado para su implementación a partir del año 2004. En este convenio se prohibía la fabricación y uso de este compuesto, DDT, entre otros y por tanto el uso de monoclorobenceno se vería aun más reducido.

En la actualidad, el monoclorobenceno es utilizado como disolvente para la formulación de algunos pesticidas, diisocionatos, nitroclorobenceno y desengrasante para algunas aplicaciones industriales. También es utilizado como disolvente en otros campos industriales como a escala laboratorio, gracias a su alto punto de ebullición.

#### 1.2.5. Aplicaciones del Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico es un producto químico de gran importancia, debido a sus propiedades, y del que se hace un gran uso.

En primer lugar, en la industria metalúrgica se hace gran uso de este para la operación de decapado, ya que el ácido clorhídrico es capaz de eliminar los óxidos presentes en la superficie del acero. El uso de este compuesto en la industria metalúrgica no se queda únicamente en esta operación sino que también es utilizado para el grabado de aluminio y en la limpieza de metales.

En referencia a su aplicación para la limpieza de metales, cabe destacar que este compuesto también es usado para operaciones de limpieza industrial y doméstica, ya que es capaz de eliminar el carbonato de calcio y gracias a su disociación completa en agua, el pH de la solución será muy bajo lo que producirá la muerte de microorganismos que se encuentren en el medio a limpiar.

Otro sector en el que se hace un gran uso de ácido clorhídrico es en el petrolífero. En este ámbito, se aprovecha las propiedades de este compuesto para reaccionar con el carbonato y los óxidos y de esta manera, haciendo una inyección de ácido clorhídrico en un pozo se consigue disolver una porción de la roca, si es caliza, y eliminar los óxidos presentes consiguiendo un aumento de la permeabilidad y del flujo de petróleo en consecuencia.

En la industria alimentaria, debido a la gran variedad de productos que se engloban en este sector y al uso que se hace del ácido clorhídrico en muchos procesos de fabricación de estos productos se ha optado por nombrar aquellos con mayor importancia.



Uno de los más importantes usos es en la obtención de jarabes de maíz los cuales son muy empleados en pasteles, galletas, productos lácteos, bebidas saborizadas y un sin fin de productos.

Otro uso importante dentro de este sector es la regeneración de resinas de intercambio iónico utilizadas para la purificación del producto final. También se emplea para regulación del pH tanto de intermedios como del producto y el agua residual que se genera en el proceso.

Por ultimo también hay que destacar el papel que desempeña el ácido clorhídrico como acidulante en la producción de gelatinas, su uso como acidificante para productos como salsas y alimentos envasados y su uso en el proceso de obtención de edulcorantes artificiales.

Otros sectores que también hacen uso de este compuesto en sus procesos son la industria minera en la que se utiliza para el tratamiento de minerales, su extracción, separación y por ultimo su purificación. La propia industria química y farmacéutica en la que se utiliza como catalizador, regenerador de catalizadores, regulador de pH, neutralizador de productos y deionización de agua entre otros usos. Y por ultimo la industria textil en la que se utiliza para la fabricación de tintes, pigmentos y ayudar en el blanqueado y teñido de los tejidos.

### **1.3. Constitución de la planta**

En este apartado del proyecto se presenta la distribución que se ha realizado en la parcela de las diferentes áreas que se han creado, la planificación temporal que se seguirá cuando la planta se encuentre en operación y por último la plantilla de trabajadores que el grupo que ha realizado este proyecto ha considerado necesario para un correcto funcionamiento de la empresa de forma segura, eficiente técnica y económicamente y respetuosa con el medio ambiente.

### 1.3.1. Áreas

La planta de producción que se ha diseñado en este proyecto se ha dividido en trece áreas. Esta distribución en áreas se ha hecho siguiendo un conjunto de factores que se han considerado de obligado cumplimiento y que se citan a continuación:

- Circulación mínima: Este factor es de vital importancia para una correcta distribución de las áreas en el terreno disponible. Si se consigue minimizar los movimientos necesarios a realizar para el transporte de productos y personas se trabaja de forma más eficiente y se consigue una satisfacción más alta por los trabajadores.

- Seguridad: Factor ligado al anterior, si la distribución hecha contempla la mínima circulación también se está minimizando la probabilidad de sufrir accidentes. Además también se debe tener en cuenta las distancias mínimas que se deben respetar entre diferentes compuestos, que se tratan en el proceso, y que representan un peligro si no se siguen las normas de seguridad establecidas.

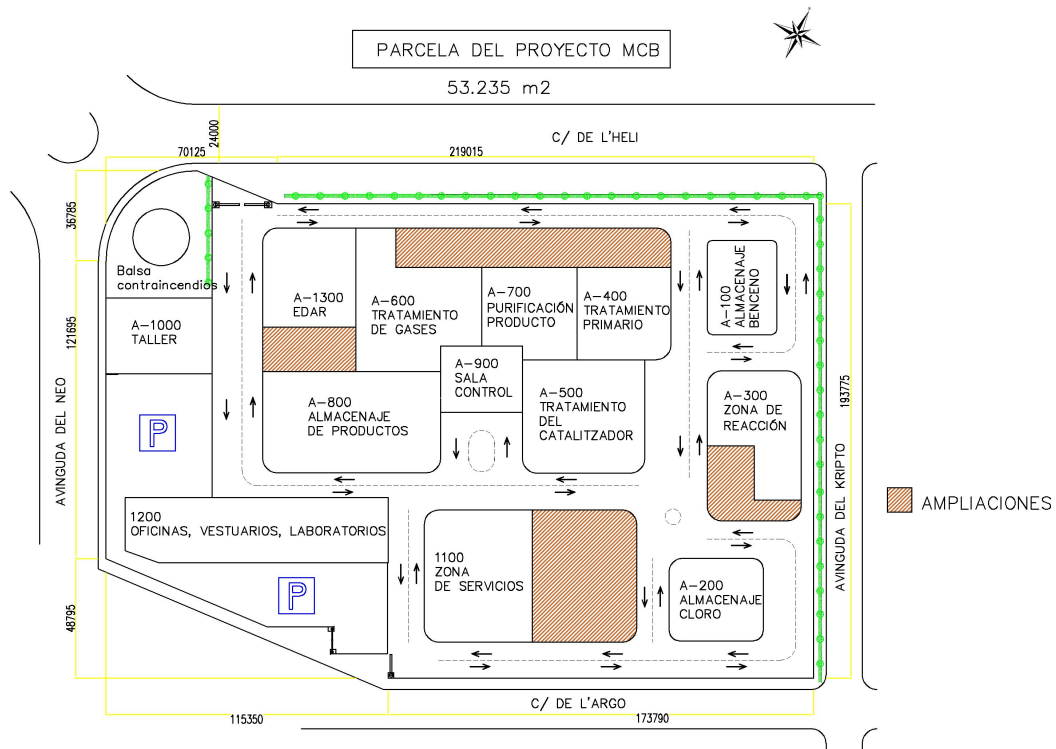
- Flexibilidad: Factor de vital importancia ya que en el diseño de la distribución se debe tener en cuenta los posibles cambios que se darán en el corto y medio plazo en el proceso productivo. Una vez considerados estos cambios se debe concebir cual será el mejor espacio en el que se puedan implementar estas mejoras de forma que se sigan garantizando el resto de factores y su implementación no suponga una redistribución de algunas áreas.

En la **tabla 1.3.1** se presentan las áreas que conforman nuestra planta de producción con una breve descripción de cada una:

**Tabla 1.3.1** Áreas de la planta y pequeña descripción.

Área	Descripción
A-100	Almacenaje y purificación del benceno
A-200	Almacenaje y acondicionamiento del cloro
A-300	Zona de reacción
A-400	Tratamiento primario del producto
A-500	Tratamiento del catalizador
A-600	Tratamiento de gases
A-700	Purificación del producto
A-800	Almacenaje de productos
A-900	Sala de control
A-1000	Taller
A-1100	Área de servicios y auxiliares
A-1200	Oficinas, aparcamiento, laboratorios y vestuarios
A-1300	EDAR y almacenaje de residuos

En la **figura 1.3.1** se presenta la distribución final que se ha diseñado para la implantación de las áreas que conforman la planta en el terreno disponible:



**Figura 1.3.1.** Implantación de las áreas en el terreno.

1.3.1.1. Descripción detallada de las áreas

**Área A-100: Almacenaje y purificación del benceno**

Esta área está dedicada al benceno, en ella se encuentra la zona de carga y descarga en la que los camiones cisterna realizarán las descarga de su contenido en el parque de tanques que se ha diseñado y en la que también se realizará las operaciones de carga en camiones cisterna del tolueno que también se almacena en esta área.

Por tanto, en esta zona se encuentran los tanques que almacenarán benceno con la finalidad de abastecer el proceso de producción. Este parque ha sido diseñado para almacenar el stock necesario para poder operar durante tres días sin necesidad de suministro externo de benceno. El parque está formado por seis tanques con fondo plano y cabezal superior toriesférico tipo Klopper en los que se almacenará benceno y un tanque también de fondo plano y cabezal superior toriesférico tipo Klopper que almacenará el tolueno que se obtenga de la columna de purificación de benceno. Todos los tanques que forman el parque cuentan con un sistema de inertización con nitrógeno y los tanques en los que se almacena benceno cuentan con un sistema tipo media caña externa, para mantener el contenido de los tanques a una temperatura de 15 °C para evitar su solidificación. Por este circuito en los períodos en los que la temperatura sea superior a la consigna circulará agua de refrigeración y en los meses en los que la temperatura sea inferior circulará vapor.

El benceno que se almacena en esta área viene con impurezas de tolueno que se deben eliminar antes de entrarlo en el sistema de producción, con esta finalidad se ha implantado en esta área la torre de destilación en la que se da su purificación y en la que también se obtiene como residuo el tolueno que se almacena y que posteriormente se comercializará con la finalidad de evitar gastos al tener que gestionarlo como un residuo.

#### **Área A-200: Almacenaje y acondicionamiento del cloro**

En esta área se encuentra el almacenamiento de cloro. Este reactivo es almacenado bajo presión para mantenerlo como gas licuado, el parque de tanques está formado por doce tanques los cuales son semi-móviles, debido a futuras mejoras que se realizarán en la planta utilizando este tipo de tanques su reemplazamiento se hará de una forma más sencilla. De estos doce tanques, nueve de ellos se utilizarán para almacenar cloro en periodo de operación normal y los otros tres han sido implementados por razones de seguridad, ya que si sucediera algún problema en algunos de los tanques de esta forma se podría evacuar el contenido de ese tanque en otro y evitar un problema mayor.

En esta misma área se ha incluido también el área de carga en la que los camiones cisterna que proveen de cloro a la planta realizarán las tareas de descarga de su contenido en los diferentes tanques del parque. En referencia a la necesidad de suministro externo de cloro, este parque ha sido diseñado para almacenar un stock para poder operar durante tres días únicamente con el cloro almacenado en el área A-200 sin necesidad de suministro externo.

Ya que el cloro que se almacena en esta área se encuentra licuado, es necesaria su evaporación para poder inyectarlo en los reactores. Para esto es necesario el uso de intercambiador en el que se realiza el cambio de estado y posteriormente mediante unas válvulas reductora se acondiciona el cloro para ser enviado al área A-300 y introducirse en los reactores. Este intercambiador también se ha dispuesto en esta área.

#### **Área A-300: Zona de reacción**

Esta área como su nombre indica es en la que se da la reacción de formación de monoclorobenceno, por tanto, en la que se encuentran los tres reactores. Estos reactores están formados por dos cabezales toriesféricos tipo Kloppe y una virola de geometría cilíndrica. También cuentan con un sistema de refrigeración externo tipo media caña, ya que las reacciones que se dan en su interior son exotérmicas y este opera de forma isoterma por lo que es necesario evacuar el calor generado.

En esta área también se encuentra el almacenamiento del catalizador, ya que las necesidades de catalizadores son mucho menores que la de los reactivos, únicamente es necesario un tanque el cual tiene capacidad para albergar en su interior un stock para poder operar durante tres días sin necesidad de suministro externo de cloruro férrico. Para la incorporación del catalizador en el proceso, esta área también cuenta con un mezclador en el que se introduce el corriente de benceno, necesario para alimentar los tres reactores, y mediante el uso de una dosificadora de sólidos automática se dosifica el catalizador para posteriormente introducir esta mezcla en los reactores.

#### **Área A-400: Tratamiento primario del producto**

En esta área se realiza el primer tratamiento que se realiza al corriente líquido que se obtiene de los reactores, en este corriente se encuentra la mayoría del monoclorobenceno que se ha formado. Este primer paso de su purificación consiste en una columna de destilación en la que se consigue separar por el corriente de residuo una mezcla formada por diclorobenceno y cloruro férrico, el catalizador, para evitar problemas de incrustaciones en las siguientes torres del proceso. Esta columna a diferencia de las otras, que son de relleno, es de platos para que su limpieza en el caso de que se creen incrustaciones sea más sencilla.

En esta área también se encuentra el separador líquido-gas que opera después de la columna y que tiene como objetivo eliminar trazas de cloruro de hidrógeno del corriente líquido y enviar estas trazas al área A-600 en la que se realiza el tratamiento de la fase gas que se obtiene como salida de los reactores. El corriente líquido sigue el proceso de purificación del producto y es enviado al área A-700.

#### A-500 Tratamiento del catalizador

En esta área se realiza el tratamiento necesario para eliminar el catalizador del corriente de diclorobenceno y poder recircularlo al proceso de producción. El primer paso de este tratamiento y por el tanto el primer equipo que conforma esta área es un reactor en el que mediante la adición de hidróxido de sodio se realiza la precipitación del cloruro férrico en forma de hidróxido de hierro (III). Este reactores también está formado por dos fondos toriesféricos tipo Kloppe y una virola de geometría cilíndrica. Ya que es necesario la utilización de hidróxido de sodio, su almacenamiento también se realiza en el área A-500. Este se realiza en un tanque con una capacidad para albergar en su interior un stock para poder operar durante tres días sin necesidad de suministro externo. En esta área también se encuentran dos tanques en los que se almacena en uno agua osmotizada y en el otro agua desmineralizada, que se utiliza para diluir la concentración del hidróxido de sodio que se introduce en los reactores. Otro equipo es la centrifuga de tambor macizo y tornillo sinfín en la que se realiza la separación del hidróxido de hierro (III) que ha precipitado en los reactores y las dos fases líquidas que se han formado. Para la separación de estas dos fases también se cuenta con un separador de fases gravitacional.

#### A-600 Tratamiento de gases

El área A-600 está dedicada al tratamiento del corriente gaseoso que se extrae como salida de los reactores. El primer equipo que forma esta área es una columna de relleno la cual se utiliza para reducir en un alto grado la cantidad de compuestos orgánicos en el corriente a tratar.

En segundo lugar, hay un separador líquido-gas en el que también se eliminan compuestos orgánicos y se consigue aumentar la concentración de cloruro de hidrogeno en el corriente gaseoso para mejorar su absorción en agua.



Para realizar la absorción se han diseñado un sistema que está formado por dos unidades, cada una de ellas formada por una columna de pared húmeda y una columna de relleno. En este sistema y realizando el contacto entre el corriente gaseoso y un corriente de agua osmotizada, o desionizada en caso de emergencia, se consigue la absorción del cloruro de hidrogeno en el corriente líquido dando lugar un corriente de ácido clorhídrico al 32 Wt% que se comercializará como subproducto.

El siguiente equipo del área, son dos separadores de fases gravitacional, los cuales tiene una función de seguridad, en el supuesto de haber un problema por el que no se haya eliminado suficientes orgánicos y llegasen a este punto del proceso, gracias a este separador se separarían la fase acuosa y orgánica y esta última se recircularía al área A-700 para su tratamiento.

Para poder verter el corriente gaseoso que se ha tratado en esta área aún falta eliminar el cloro y los orgánicos presentes. Con este objetivo se cuenta con un lavador de gases tipo Venturi en U, en el que se elimina el cloro mediante la absorción en hidróxido de sodio y por último un reactor térmico en el que mediante temperaturas de 400 °C y la entrada de aire se oxidan los compuestos orgánicos.

#### **A-700 Purificación del producto**

En el área A-700 se realiza la purificación final del producto que se comercializará. Esta área esta formada en primer lugar por una columna de destilación de relleno en la que se realiza una recuperación del benceno que no ha reaccionado para así recircularlo al sistema y poder aprovecharlo. Por tanto, por el corriente de destilado se obtiene benceno con una pureza superior al 99 %Wt y por el corriente de residuo se obtiene una mezcla formada por nuestro producto, monoclorobenceno, y diclorobenceno.

El segundo paso y por tanto el segundo equipo de esta área es una columna de destilación de relleno. Esta columna tiene como objetivo realizar la ultima purificación del producto antes de enviarlo al área A-800 para su refrigeración y almacenamiento.

Por tanto, de esta segunda columna por el corriente de destilado se obtiene monoclоробенцено con una pureza comercial que permite su comercialización y por el corriente de residuo se obtiene diclorobenceno con una pureza del 99.7 %Wt que es enviado al área A-800 para su tratamiento y almacenamiento.

#### **A-800 Almacenaje de productos**

Esta área está destinada principalmente al almacenamiento de monoclоробенцено, ácido clorhídrico y diclorobenceno. Debido a que en esta área se encuentran los productos que luego se comercializarán también se incluye una zona de descarga, en la que se realizarán las tareas de distribución del producto en camiones cisterna para su comercialización.

A parte de la zona de almacenamiento y descarga, en esta área también se ha dispuesto el tratamiento del diclorobenceno. Este producto es una mezcla de 3 isómeros, uno de los cuales, el p-diclorobenceno, tiene una temperatura de fusión de 53 °C, por lo que tanto por motivos económicos como sería el gasto de mantener el tanque de almacenamiento por encima de esta temperatura como por motivo de purificación y separación de los isómeros, se ha optado por realizar la cristalización de este isómeros y únicamente almacenar en forma líquida los isómeros orto y meta.

El tratamiento, y por tanto los equipos que se disponen, está formado en primer lugar por dos cristalizadores en los que mediante la circulación de agua de refrigeración por un serpentín interior, se provocaría la cristalización del p-diclorobenceno. Se han implantado dos cristalizadores debido a que estos trabajan de forma discontinua y de esta forma se alterna el funcionamiento entre ambos para trabajar continuamente.

El próximo equipo en el tratamiento es un tamiz vibratorio, ya que la salida del cristizador será un sólido húmedo debido a que este isómero, el p-diclorobenceno, representa un 80 %Wt de la mezcla de los tres.

En este equipo se conseguirá la separación de las dos fases y por tanto, la fase líquida formada por los isómeros orto y meta serán enviados al tanque dispuesto en el área para su almacenamiento y el isómero para que ya se encuentra en estado sólido pasa a la siguiente fase para su secado.

Para realizar el secado del sólido se ha optado por un tambor rotatorio en el que se hará circular aire a 45 °C para facilitar el secado. De este equipo el aire de salida pasará a un ciclón en el que se separarán las partículas sólidas que haya podido arrastrar y se enviarán conjuntamente con el sólido seco, que salga del tambor, a un tornillo sin fin que actuará como transportador a las dos tolvas que se han dispuesto para su almacenamiento.

#### **A-900 Sala de control**

El área A-900 está dedicada exclusivamente a la sala de control. Este espacio es en el que se realizan las tareas de gestión de producción y desde aquí también se realiza el control de toda la planta. La situación de esta área en el recinto de la planta es importante ya que debe estar situada cercana a las áreas de producción con la finalidad de poder supervisar y gestionar las operaciones que se deban hacer desde campo y no a través del panel de control.

#### **A-1000 Taller**

Esta área está destinada a diferentes funciones. Su principal función será la de almacén para equipos y piezas que se tengan como repuesto para posibles cambios que sean necesarios realizar en la planta debido a problemas que puedan aparecer del desgaste o otros motivos. Otra de las tareas importantes que se realiza en esta área es la de reparación de estos equipos y piezas que se puedan aprovechar y también servirá como departamento para aquellos trabajadores encargados del mantenimiento y limpieza.

#### **A-1100 Área de servicios y auxiliares**

El área A-1100 alberga los equipos necesarios para suministrar a planta todas las necesidades auxiliares que necesita para poder operar en las condiciones en las que se ha realizado el diseño.

Esta área está formada por 4 torres de refrigeración las cuales darán servicio para la refrigeración de equipos, 2 chillers que también abastecerán aquellos equipos que necesiten agua para su refrigeración pero a una menor temperatura, 4 calderas que darán suministro a aquellos equipos que necesiten vapor para realizar su función, un tanque de nitrógeno para realizar la inertización de los tanques de benceno, tolueno del área A-100 y alimentar la centrífuga del área A-500. Por último, una planta de ósmosis para la obtención de agua osmotizada necesaria en el proceso productivo.

Como servicios auxiliares también se cuenta en esta área con compresores de aire para dar servicio de aire comprimido para la manipulación de válvulas, un transformador eléctrico y un grupo electrógeno para dar servicio eléctrico en caso de emergencia.

#### **A-1200 Oficinas, aparcamiento, laboratorios y vestuarios**

Esta área será el complejo de edificios principal y el que se encuentren aquellas personas que acudan a la planta. En el se incluyen las oficinas en las que se encontrarán tanto el equipo administrativo como comercial y ejecutivos de la empresa. Otro de los edificios estará destinado al laboratorio donde se realizarán las tareas del departamento de calidad y el departamento de I+D+i ( Investigación, desarrollo e innovación ). Y por último habrá un edificio en el que se ubicarán los vestuarios y zona de comedor para aquellos empleados que decidan comer o cenar en las instalaciones de la empresa.

Frente a los edificios principales se encuentra la zona de aparcamiento que ha sido diseñada para poder dar servicio tanto a clientes como a personal de la planta autorizado para hacer uso de él.

**A-1300 EDAR y almacenaje de residuos**

En el área A-1300 se tratarán aquellos vertidos que procedan de la planta y que se deban tratar antes de poder evacuarlos a la atmósfera. En esta área también se realizará la construcción de una planta para el tratamiento de efluentes líquidos que se generen de las tareas de limpieza que se realicen y que también sea necesario tratarlos antes de poder verterlos al alcantarillado del polígono industrial.

En esta área también se encontrarán los departamentos de medio ambiente y seguridad.

**1.3.2. Planificación temporal**

La planta que ha sido diseñada en este proyecto ha sido ideada para operar durante trescientos días al año. Con la finalidad de lograr los objetivos productivos fijados, la planta operará los siete días de la semana y durante las veinticuatro horas del día. Por tanto, se han dispuesto cinco turnos rotatorios mensualmente que funcionan según los datos presentados en la **tabla 1.3.2**:

**Tabla 1.3.2.** Planificación de los turnos de trabajo.

Turno	Horario
<b>Lunes a viernes</b>	
<b>1</b>	06:00 a 14:00
<b>2</b>	14:00 a 22:00
<b>3</b>	22:00 a 06:00
<b>Sábado y domingo</b>	
<b>4</b>	06:00 a 18:00
<b>5</b>	18:00 a 06:00

Además de los turnos de producción presentados en la **tabla 1.3.2**, se incluye un turno para aquel personal de oficinas que trabajará de lunes a viernes con un horario de nueve de la mañana a dos de la tarde, con pausa para comer de una hora y de tres a seis de la tarde.

Respecto al tiempo en la que la planta no se encuentre en periodo de producción que son sesenta y cinco días al año, se aprovechará para realizar tareas de limpieza, recambio de equipos, tareas de supervisión de las instalaciones y por último también se aprovechará para realizar posibles cambios que se deban implantar en el proceso y que hayan sido acordados por el equipo directivo de la empresa.

La distribución de estos períodos en los que la planta no operará se presenta en la **tabla 1.3.3**:

**Tabla 1.3.3.** Planificación de las paradas de la planta.

Período	Inicio – Final	Duración
Verano	1 Agosto – 31 Agosto	31 días
Navidad	20 Diciembre – 8 Enero	20 días
Semana Santa	-	14 días

En estos periodos de parada de producción se incluyen los días necesarios para realizar la parada y puesta en marcha del proceso productivo. Se ha estimado que estas tareas pueden ocupar dos días cada una.

### 1.3.3. Plantilla de trabajadores

Para la consecución de los objetivos de esta empresa, es necesario un grupo de profesionales que mediante su trabajo y cooperación hagan de esta compañía una de las potencias en su sector. Para ello se ha creado la plantilla de trabajadores que formarán cada turno de producción y el personal que trabaje en la oficina. En la **tabla 1.3.4** se muestran los diferentes grupos y personas que se precisan:

**Tabla 1.3.4.** Plantilla de trabajadores.

Departamento	Personas
Producción	56
Ingeniería	6
Mantenimiento y servicios	12
Medio ambiente y seguridad	7
Laboratorio e investigación	15
Administración	10
Informática	3
Comercial	6

#### 1.3.4. Construcción de la planta

En este apartado se presenta la planificación temporal que se ha hecho de las tareas necesarias para la construcción de la planta que se ha diseñado en el proyecto. En la **Tabla 1.3.5** se indican las tareas, una breve descripción, su duración y por último el orden de precedencia.

Para facilitar la visualización de la envergadura del proyecto y sus diferentes fases se ha diseñado un diagrama de Gantt, presentado en la **figura 1.3.1** en el que se representa la duración y se representa en el tiempo cada una de las tareas. Las tareas que se representan en color rojo son aquellas que forman el camino crítico del proceso, este conjunto de tareas es el que marca la duración total del proceso.

**Tabla 1.3.5.** Tareas construcción de la planta.

Número de	Descripción	Duración	Precedencia
1	Licencia de obras	3 meses	0:1
2	Licencia de operación	4 meses	0:1
3	Encargo de equipos	6 meses	1:3
4	Limpieza de la parcela	1 mes	1:4
5	Movimiento de tierras	3 meses	4:5
6	Instalación de suministros	1 mes	5:6
7	Vías de acceso y aceras	1 mes	5:7
8	Edificaciones	5 meses	6:8
9	Aparcamiento	1 mes	7:9
10	Área A-100	2 meses	3,6:10
11	Área A-200	1 mes	3,6:11
12	Área A-300	2 meses	3,6:12
13	Área A-400	1 mes	3,6:13
14	Área A-500	1 mes 15 días	3,6:14
15	Área A-600	3 meses	3,6:15
16	Área A-700	2 meses	3,6:16
17	Área A-800	3 meses	3,6:17
18	Área A-1100	1 mes	3,6:18
19	Instalación soportes, escaleras, plataformas y barandillas	1 mes 15 días	8-18:19
20	Instalación tuberías proceso	2 mes	10-17:20
21	Conexión tuberías -equipos	1 mes	20:21
22	Instalación tuberías servicios	1 mes	18:22
23	Conexión tuberías servicios	15 días	22:23
24	Instalación instrumentación	1 mes 15 días	20, 22:24
25	Conexión instrumentación - equipo	1 mes	24:25
26	Aislamiento de equipos y tuberías	1 mes 15 días	25:26
27	Pintura	1 mes	26:27
28	Limpieza	20 días	27:28



## Capítulo 1 – Especificaciones del proyecto



#### **1.4. Especificaciones y necesidades de servicios**

En este apartado se realiza la especificación y un pequeño resumen de cada uno de los servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la planta. Los servicios son operaciones auxiliares necesarias que se deben realizar en determinados puntos del proceso o en determinados momentos para que la actividad de la planta transcurra conforme a las condiciones fijadas y no haya peligro de sufrir un accidente. Entre los servicios más destacados y que toda planta química necesita están el agua de refrigeración, que puede ser enfriada con una torre de refrigeración o bien un chiller según las necesidades del proceso, vapor para calentar determinados corrientes o equipos que necesiten su uso, aire comprimido para el funcionamiento de instrumentos, válvulas y otros equipos que necesiten de este servicio. Por último y no menos importante gas natural y electricidad para poder dar suministro a los equipos que conforman la planta de producción diseñada. Nuestra planta además de estos necesita un suministro de nitrógeno para realizar la inertización de aquellos equipos en los que sea necesaria y una planta de ósmosis para obtener la pureza necesaria para realizar la absorción del cloruro de hidrogeno en el área A-600 i la dilución del hidróxido del sodio en el área A-500.

##### **1.4.1. Agua de refrigeración (Torre)**

El agua de refrigeración que se obtiene mediante una torre de refrigeración es de gran importancia en la industria química. En estos equipos se consigue el enfriamiento de agua de proceso que se utiliza en equipos como intercambiadores de calor, condensadores de las torres de destilación, refrigeración de las columna de absorción del área A-600 y por último la refrigeración de los reactores.

Mediante el uso de de estas torres se consigue enfriar el agua de proceso hasta una temperatura de 25 °C.

Esta temperatura ha sido escogida teniendo en cuenta el estudio realizado de las temperaturas máximas mensuales del municipio en el que se emplazará la planta. El retorno de esta agua de proceso a la entrada del sistema en el que se enfría es de 40 °C. Por tanto se realiza un salto térmico de 15 °C en total.

Para calcular las necesidad energética que debe ser capaz de refrigerar el sistema de torres de refrigeración se calcula a partir de la **ecuación 1.4.1**:

$$Q_{Total} = M_{Total} \cdot \nabla T_{agua} \cdot Cp_{agua} \quad (E-1.4.1)$$

Donde  $Q_{Total}$  es la necesidad energética que se necesita eliminar,  $M_{Total}$  el caudal de agua a refrigerar,  $\nabla T_{agua}$  es el incremento de temperatura que tiene el agua de servicio que se refrigera y  $Cp_{agua}$  es el calor específico del agua.

En la **tabla 1.4.1** se muestran los diferentes equipos que requieren uso de agua de refrigeración de torre y el caudal que cada uno necesita para posteriormente calcular la necesidad energética para la elección del sistema de refrigeración.

**Tabla 1.4.1.** Equipos y necesidad de agua de refrigeración de torre.

Agua de torre (25°C - 40°C)	M (Kg/h)	Q (m3/h)
A-600. Columnas de absorción	91258	91.53
A-300. Reactores (R-301 - R-303)	206379	207.00
A-100. E-101	455	0.46
A-500. E-504	2905	2.91
A-500. R-501	5616.9	5.63
A-600. E-601	1576	1.58
A-600. E-602	3394	3.40
A-600. E-604	9590	9.62
A-700. E-701	6800	6.82
A-700. E-702	20215	20.28
A-100. DC-101	39184	39.30
A-400. DC-401	252930	253.69
A-700. DC-701	173099	173.62
A-700. DC-702	101910	102.22
A-800. CR-801/2	4387	4.4
<b>Total</b>	<b>919699</b>	<b>922.46</b>

Una vez determinado el caudal total de agua de proceso que necesita ser refrigerado, a partir de la **ecuación 1.4.1**, presentada anteriormente, se calcula el caudal energético total que es de 15844 kW térmicos. Con la finalidad de poder eliminar todo este calor se ha optado por recurrir a la empresa EWK, especializada en equipos de refrigeración y se ha escogido el modelo EWB-2875 con las características que se presentan en la **tabla 1.4.2**:

**Tabla 1.4.2.** Especificaciones torre de refrigeración EWB-2875.

<b>Equipo</b>	Torre de refrigeración EWB-2875
<b>Proveedor</b>	EWK Equipos de refrigeración, S.A.
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	5172/ 6372/ 5335
<b>Peso vacío/Peso operación</b>	6800/ 9200
<b>Calor disipada (kW)</b>	4597

Para poder disipar todo el calor que se debe, se ha optado por poner cuatro torres en operación y de esta manera tener capacidad suficiente para poder refrigerar todo el caudal necesario a la temperatura de diseño. Por tanto, en la **tabla 1.4.3** se muestra la capacidad total de disipación de la instalación, la necesidad de disipación en operación normal y el número de torres:

**Tabla 1.4.3.** Especificación necesidad y capacidad energética.

<b>Calor a disipar en la instalación (kW)</b>	16018
<b>Capacidad de disipación total (kW)</b>	18388
<b>Número de torres de refrigeración</b>	4

### 1.4.2. Agua de refrigeración (Chiller)

El agua que se obtiene de un chiller, se puede enfriar hasta temperaturas de 5 °C, en este caso, se ha optado por utilizar agua a 6 °C. Esta agua de proceso se utiliza para dar suministro a equipos como son los tanques en los que se almacena el benceno en el área A-100 y un intercambiador del área A-400. En estos equipos se ha decidido utilizar agua enfriada con chiller debido a que si se utilizase agua de refrigeración de torre no se podría conseguir bajar la temperatura a la deseada porque el agua de refrigeración esta a una temperatura superior o bien el caudal que se debería utilizar para refrigerar el calor necesario seria excesivamente grande haciendo inviable esta posibilidad.

En la **tabla 1.4.4** se muestran los equipos en los que se utilizará agua refrigerada mediante chiller y el caudal que necesita cada uno para su correcto funcionamiento.

**Tabla 1.4.4.** Equipos y necesidad de agua de refrigeración de chiller.

Agua de chiller (6°C - 12°C)	M (Kg/h)	Q (m3/h)
A-100. T-101 - T-106	20509.74	20.52
A-400. E-403	209846.41	209.95
<b>Total</b>	<b>230356.15</b>	<b>230.47</b>

Una vez determinado el caudal total que se necesita refrigerar, mediante el uso de la **ecuación 1.4.1** presentada al inicio de este capítulo, se calcula el caudal de calor que se necesita evacuar para poder obtener la temperatura deseada. Este caudal energético es de 1612.3 kW térmicos. Con las necesidad térmicas ya calculadas, se ha recurrido a la empresa Gea Refrigeration Ibérica, S.A. especialistas en equipos de refrigeración industrial. De su amplia gama de chillers se ha escogido el modelo GEA Blugenium 1200 con las características que se presentan en la **tabla 1.4.5**:

**Tabla 1.4.5.** Especificaciones chiller GEA Blugenium 1200.

<b>Equipo</b>	Chiller GEA Blugenium 1200
<b>Proveedor</b>	Gea Refrigeration Ibérica, S.A.
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	5600/ 1200/ 2460
<b>Peso Equipo (kg)</b>	8600
<b>Calor disipada (kW)</b>	1210
<b>EER</b>	5.5

Tal y como pasaba con las torres de refrigeración, para poder disipar todo el calor que se debe, se ha optado por poner tres chillers en operación y de esta manera tener capacidad suficiente para poder refrigerar todo el caudal necesario a la temperatura de diseño. Por tanto, en la **tabla 1.4.6** se muestra la capacidad total de disipación de la instalación, la necesidad de disipación en operación normal y el número de chillers:

**Tabla 1.4.6.** Especificación necesidad y capacidad energética.

<b>Calor a disipar en la instalación (kW)</b>	1612.3
<b>Capacidad de disipación total (kW)</b>	2420
<b>Número de chillers</b>	2

### 1.4.3. Vapor de agua (Caldera)

El vapor de agua es uno de los fluidos térmicos más utilizado en la industria para realizar el suministro de calor a aquellos equipos que necesiten calentarse. Para obtener este vapor utilizado en equipos como son reboilers, intercambiadores de calor y tanques de almacenamiento que necesiten mantenerse a una temperatura superior a la ambiente, se utilizan calderas. Similar a lo que ocurría con el agua de refrigeración según las necesidades de refrigeración se utiliza agua enfriada con torre o bien con un chiller, con el vapor ocurre lo mismo según como sea la necesidad se emplean calderas que puedan dar vapor a altas presiones o bien si las necesidades son más bajas y viables se utilizan calderas de baja presión.

En nuestro proceso, se necesitan diferentes presiones, aunque todas están consideradas de alta presión, por lo que en primer lugar se nombran, en la **tabla 1.4.7**, aquellos equipos que necesiten vapor para luego dimensionar y elegir las calderas necesarias.

**Tabla 1.4.7.** Equipos y necesidad de vapor de agua.

Vapor	P (bar)	T (°C)	M (Kg/h)
A-200. E-201	3	135	717
A-400. E-401	3	135	430
A-400. E-402	3	135	871
A-500. E-502	3	135	28
A-500. E-503	3	135	34
A-500. T-502	3	135	2
A-100. T-101 - T-106	5	143.8	72
A-100. RB-101	11	184.3	5255
A-700. RB-701	11	184.3	5507
A-700. RB-702	11	184.3	3381
A-400. RB-401	11	184.3	9200
<b>Total</b>	-	-	<b>25497.00</b>

Como se puede apreciar en la **tabla 1.4.7**, existen dos rangos claros de presiones, aquellos equipos que operan por debajo de 6 bares y aquellos que operan a presiones superiores a 10 bares. Por lo que se ha optado por separar las necesidades en estos dos grupos y así con una o varias calderas que den vapor a 6 bares dar suministro a aquellos equipos que trabajen a una presión inferior y con una o varias calderas que den vapor a 12 bares dar suministro a aquellos equipos que necesiten vapor a esa presión o algo inferior.

El caudal total de vapor que es necesario para alimentar aquellos equipos que operan a presión inferior a 6 bares es de 2154 kg/h por lo que se ha optado por utilizar dos calderas las cuales operaran para dar vapor a 6 bares. Para la elección del modelo se ha recurrido a la empresa VYC industrial distribuidores oficiales de importantes marcas que fabrican calderas industriales para la producción de vapor. Se ha optado por el modelo UNIVERSAL de la marca CERTUSS. En la **tabla 1.4.8** se muestran sus especificaciones:

**Tabla 1.4.8.** Especificaciones caldera UNIVERSAL.

<b>Equipo</b>	Caldera UNIVERSAL
<b>Fabricante/ Proveedor</b>	CERTUSS/ VYC industrial
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	2125/ 1260 / 2535
<b>Peso (kg)</b>	1500
<b>Caudal máximo de vapor (kg/h)</b>	1300
<b>Presión de servicio (bar)</b>	6

Por tanto, en la **tabla 1.4.9** se muestra la capacidad total de disipación de la instalación, la necesidad de disipación en operación normal y el número de calderas que operarán a 6 bares:

**Tabla 1.4.9.** Especificación necesidad y capacidad energética.

<b>Caudal necesario a generar (kg/h)</b>	2154
<b>Capacidad de generación total (kg/h)</b>	2600
<b>Número de calderas</b>	2

El caudal total de vapor que es necesario para alimentar aquellos equipos que operan a presión inferior a 12 bares es de 23343 kg/h por lo que se ha optado por utilizar dos calderas las cuales operaran para dar vapor a 12 bares.



Para la elección del modelo se ha recurrido a la empresa OLPRES aplicaciones del calor, S.L. distribuidores oficiales de importantes marcas que fabrican calderas industriales para la producción de vapor. Se ha optado por el modelo VAPORPREX 3GN-9000 de la marca Ferroli. En la **tabla 1.4.10** se muestran sus especificaciones:

**Tabla 1.4.10.** Especificaciones caldera VAPORPREX 3GN-9000.

<b>Equipo</b>	Caldera VAPORPREX 3GN-9000
<b>Fabricante/ Proveedor</b>	Ferroli/ OLPRES, S.L.
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	8000/ 3000 / 3360
<b>Peso (kg)</b>	35000
<b>Caudal máximo de vapor (kg/h)</b>	15353
<b>Presión de servicio (bar)</b>	12

Por tanto, en la **tabla 1.4.11** se muestra la capacidad total de disipación de la instalación, la necesidad de disipación en operación normal y el número de calderas que operarán a 12 bares:

**Tabla 1.4.11.** Especificación necesidad y capacidad energética.

<b>Caudal necesario a generar (kg/h)</b>	23343
<b>Capacidad de generación total (kg/h)</b>	30706
<b>Número de calderas</b>	2

#### 1.4.4. Agua descalcificada

Para aplicaciones como las calderas de producción de vapor en las que se calienta el agua, es necesario el uso de agua descalcificada, ya que sino se hiciese uso de este tipo de agua debido a las temperaturas que se alcanzan en los diferentes circuitos podrían aparecer problemas de incrustaciones y corrosión. Por tanto, es necesario una descalcificadora capaz de tratar el volumen total del circuito cerrado de calderas y el suministro que se deba ir incorporando durante la operación para suplir las pérdidas por purgas y otras tareas de mantenimiento del circuito.

Para el dimensionamiento del equipo necesario para la descalcificación se ha estimado en un 3% el volumen de purga respecto al volumen total de agua del sistema de vapor, incluyendo las cuatro calderas. El volumen total de la instalación es de  $60 \text{ m}^3$ , habiendo sobredimensionado este parámetro para tener en cuenta el vapor que circula por la instalación. Por tanto el volumen de purga es de  $1.8 \text{ m}^3$ , teniendo en cuenta un tiempo de purga de 30 minutos, el caudal de reposición total es de  $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Debido a las necesidad y al dimensionamiento hecho se ha recurrido a la empresa Culligan especializada en soluciones para el tratamiento de agua, de sus modelos de descalcificadoras se ha optado por el modelo de alta eficiencia (HE) TWIN. Esta descalcificadora consiste en dos columnas de descalcificación que cada una de ellas puede suministrar un caudal desde 3 a  $8.4 \text{ m}^3/\text{h}$ , una de las ventajas de este modelo es el suministro continuo de agua descalcificada, ya que mientras una de las columnas se está regenerando la otra se encuentra en operación. En la **tabla 1.4.12** se muestran las especificaciones del modelo escogido:

**Tabla 1.4.12.** Especificaciones descalcificadora HE 120 TWIN 1.5”.

<b>Equipo</b>	Descalcificadora HE 120 TWIN 1.5”
<b>Proveedor</b>	Culligan
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	1730/ 610/ 1880
<b>Peso vacío/ Peso operación (kg)</b>	315/ 960
<b>Caudal máximo de agua (kg/h)</b>	8.4
<b>Temperatura de funcionamiento (°C)</b>	4.4-38
<b>Presión de funcionamiento (bar)</b>	1.7-8.3

#### 1.4.5. Agua osmotizada

En el proceso de producción es necesario el uso de agua osmotizada. Esta agua tiene una pureza muy alta ya que mediante el uso de membranas semipermeables se ha logrado disminuir en un alto grado la cantidad de sustancias que se encuentran disueltas en el agua de la red pública, principalmente sales y metales pesados. Esta agua es necesaria en las columnas de absorción de cloruro de hidrogeno del área A-600 y en la dilución de la solución de hidróxido de sodio realizada en el área A-500 con la finalidad de no contaminar con estos compuestos que tiene el agua de red el proceso ni el ácido clorhídrico que posteriormente se comercializará e interesa que tenga la menor cantidad de impurezas. En la **tabla 1.4.13** se muestran los diferentes equipos que requieren uso de agua osmotizada y el caudal que cada uno necesita para posteriormente cuantificar las necesidades y dimensionar el equipo.

**Tabla 1.4.13.** Equipos y necesidad de agua osmotizada.

<b>Agua osmotizada</b>	<b>M (Kg/h)</b>	<b>Q (m3/h)</b>
A-600. Columnas de absorción	6534	6.54
A-500. Dilución de NaOH	948	0.95
<b>Total</b>	<b>7482</b>	<b>7.49</b>

Una vez se ha cuantificado el caudal total de agua osmotizada necesario, se pasa a la búsqueda del equipo necesario para poder ejercer esta función. Para la elección del equipo de osmosis inversa se ha recurrido a la empresa Osmofilter especialistas en tratamiento integral del agua. De los diferentes modelos de los que disponen, se ha optado por el modelo OI4380, este modelo tiene una capacidad superior de producción a la necesaria pero de esta forma se sobredimensiona el servicio dando así opción de seguir utilizando este equipo en la situación de aumentar las necesidades de este.

En la **tabla 1.4.14** se muestran las especificaciones del modelo escogido:

**Tabla 1.4.14.** Especificaciones del equipo de ósmosis inversa.

<b>Equipo</b>	Equipo ósmosis inversa OI4380
<b>Proveedor</b>	Osmofilter
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	3500/ 1200/ 1700
<b>Caudal producción de agua (L/h)</b>	10000
<b>Presión de trabajo (bar)</b>	10-15
<b>Número de membranas</b>	12

#### 1.4.6. Agua de red

Este servicio será el que de suministro a las zonas de oficinas, laboratorios y vestuarios de agua potable y también a otros equipos de servicios como son las torres de refrigeración, descalcificadora y el equipo de ósmosis inversa. Para el suministro de este servicio es únicamente necesario el diseño de tuberías que darán suministro, ya que la acometida a pie de parcela da una presión suficiente para su uso y distribución.

En la **tabla 1.4.15** se muestra el consumo desglosado de agua de red:

**Tabla 1.4.15.** Necesidades de agua de red en la planta.

Equipo	Consumo (m <sup>3</sup> /h)
TR-1101—TR-1104	70.36
DE-1101	3.6
OS-1101	10
<b>Total</b>	<b>83.96</b>

#### 1.4.7. Nitrógeno

Para realizar la inertización de los tanques de benceno, tolueno y también la centrifuga del área A-500 se acostumbra a utilizar nitrógeno. Este proceso de inertización es utilizado debido a la inflamabilidad del compuesto, haciendo uso de esta medida se garantiza mediante una capa protectora de nitrógeno que no se forme una mezcla explosiva con el aire y pueda dar lugar a un accidente.

La estimación de la necesidad de nitrógeno en planta es complicada, ya que según la carga y descarga que se haga de los tanques, se deberá ir renovando y inyectando más cantidad de nitrógeno. Para su cálculo se ha recurrido a la empresa EMERSON-Anderson Greenwood especializada en tanques a presión, instrumentación y protección de tanques que explica un sencillo método basado en la bomba de descarga de los tanques para la determinación del caudal necesario de nitrógeno.

A partir de conocer el caudal máximo de descarga de la bomba, utilizando la **ecuación 1.4.2** se calcula el caudal de nitrógeno necesario:

$$Q_N = Q_{max} \cdot 0.057 \quad (E-1.4.2)$$

Donde  $Q_N$  es el caudal de nitrógeno (Nm<sup>3</sup>/h) y  $Q_{max}$  es el caudal máximo de descarga del tanque (L/min).

En la **tabla 1.4.16** se muestran los equipos que necesitan inertización, la necesidad de nitrógeno por equipo y la total:

**Tabla 1.4.16.** Necesidades de nitrógeno en planta.

Equipo	Caudal de descarga total (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de nitrógeno (Nm <sup>3</sup> /h)
T-101—T-106	7.35	6.98
T-107	60	57
CE-501	-	3.2
<b>Total</b>		67.18

Una vez se ha determinado el caudal necesario de alimentación de nitrógeno que se necesitará previsiblemente, se debe calcular cual será el volumen que este ocupará almacenado de forma líquida, en un tanque criogénico.

Para el almacenamiento y suministro de este producto, se ha contactado con la empresa Linde, su suministro y almacenamiento lo realizan a una presión de 18 o 36 bar. En este proyecto debido a que los equipos que necesitan suministro trabajan a presiones cercanas a la atmosférica se ha elegido la serie de tanques a 18 bar. A partir de un factor de conversión se ha calculado el volumen en líquido que se debe almacenar y definiendo un stock de 7 días, se ha cuantificado la necesidad de nitrógeno líquido en 16.35 m<sup>3</sup>.

Ya con el dato de almacenamiento necesario, se ha escogido el modelo de tanque criogénico que mejor se adapta a las necesidades y este es el modelo 200. En la **tabla 1.4.17** se muestran un resumen de las necesidades de nitrógeno y especificaciones del tanque escogido:

**Tabla 1.4.17.** Especificaciones necesidades nitrógeno.

<b>Volumen nitrógeno líquido necesario (L)</b>	16350
<b>Capacidad tanque (L)</b>	19340
<b>Modelo tanque</b>	Tanque criogénico Linde 200
<b>Peso vacío (Kg)</b>	9840
<b>Diámetro del tanque (m)</b>	2.4
<b>Altura del tanque (m)</b>	8.35

#### 1.4.8. Aire comprimido

El aire comprimido tiene un importante uso, ya que, es necesario para accionar aquellas válvulas neumáticas que necesitan de este servicio para funcionar. Para este servicio, es necesario un compresor que cuente con la capacidad necesaria para abastecer todo el sistema de válvulas que necesiten suministro. Para dimensionar el equipo necesario se ha hecho un recuento de las válvulas y se ha determinado que en la planta se instalarán 200 válvulas que necesitan suministro de aire. El diseño realizado se ha hecho en las condiciones más desfavorables, en las que todas las válvulas necesitarán suministro simultaneo. Esto se ha hecho como medida de sobredimensionamiento por seguridad, ya que en la realidad no todas las válvulas necesitarán de suministro simultaneo.

Para el cálculo de la capacidad del compresor, se ha tenido en cuenta que aquellas válvulas todo-nada necesitan un caudal de  $0.1 \text{ Nm}^3/\text{h}$  y las válvulas reguladoras necesitan un caudal de  $2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Utilizando la **ecuación 1.4.2** se determina cual es el caudal total que debe ser capaz de suministrar el compresor elegido. La presión a la que deberá operar este equipo es de 6 barg.

$$Q_{Total} = N_{v.t.} \cdot Q_{v.t.} + N_{v.r.} \cdot N_{v.r.} \quad (\text{E-1.4.2})$$

Donde  $Q_{\text{Total}}$  es el caudal total de aire,  $N_{v.t.}$  es el número de válvulas todo-nada,  $Q_{v.t.}$  es el caudal necesario en una válvula todo-nada,  $N_{v.r.}$  es el número de válvulas reguladores y  $Q_{v.r.}$  es el caudal necesario en una válvula reguladora.

Por tanto, aplicando la **ecuación 1.4.2** se ha dimensionado la necesidad de aire comprimido en 216 Nm<sup>3</sup>/h. Para la elección del compresor se ha recurrido a la empresa CompAir especialista en compresores y con presencia internacional.

El compresor escogido pertenece a la serie DH, esta serie no contiene aceite por lo que de esta manera se evita la circulación de este por las tuberías de las instalaciones. En la **tabla 1.4.18** se muestran las especificaciones más importantes de este modelo:

**Tabla 1.4.18.** Especificaciones del compresor de aire.

<b>Equipo</b>	Compresor D37H RS
<b>Proveedor</b>	CompAir
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	1722/ 920/ 1659
<b>Caudal salida de aire (m<sup>3</sup>/min)</b>	1.09-6.87
<b>Presión de trabajo (barg)</b>	5-10
<b>Peso del equipo (kg)</b>	995

#### 1.4.9. Electricidad

El servicio eléctrico es de gran importancia, ya que, debe abastecer de electricidad a todos los equipos que forman la planta de producción además de zonas como oficinas, vestuarios, laboratorios, sala de control y otras áreas que no son de producción estrictamente. Por tanto, se debe contar con un transformador eléctrico el que nos permita convertir el voltaje de la acometida principal, que es de 20 kV, al necesario para realizar la alimentación a los equipos. En la **tabla 1.4.19** se muestra la lista equipos que necesitan suministro eléctrico y la potencia que se requiere:



**Tabla 1.4.19.** Necesidades de suministro eléctrico.

Equipo	Número de equipos	Potencia total (KW)	Potencia total consumida (KW·h)/día
P-101	2	0.41	9.84
P-102	2	1.64	39.36
P-103	2	0.02	0.48
P-104	2	0.04	0.96
P-105	2	0.42	0.84
P-201	2	0.11	2.64
P-202	2	0.11	2.64
P-203	2	0.11	2.64
P-204	1	0.03	0.72
P-205	1	0.03	0.72
P-206	1	0.03	0.72
P-301	2	0.32	7.68
BP-301	2	52.72	1265.28
DO-301	1	0.15	3.6
MX-301/3	3	123	2952
MX-304	1	35.5	852
P-401	2	0.05	1.2
P-402	2	2.9	69.6
P-403	2	1.91	45.84
BP-401	2	9.86	236.64
P-501	2	1.33	31.92
P-502	2	1.34	32.16
P-503	2	0.05	1.2
P-504	2	0.21	5.04
P-505	2	0.013	0.312
P-506	2	0.017	0.41
P-507	2	0.13	3.12
P-508	2	0.13	3.12

P-509	2	0.005	0.12
CE-501	1	15	360
MX-501	1	70.14	1683.4
P-601	2	0.04	0.96
P-602	1	0.29	6.96
P-603	1	0.29	6.96
P-604	2	0.03	0.72
BP-601	2	30.68	736.32
BP-602	2	0.49	11.76
BP-603	2	0.29	6.96
BP-604	1	0.16	3.84
RT-601	1	6	144
P-701	2	0.02	0.48
P-702	2	0.97	23.28
P-703	2	0.08	1.92
P-704	2	0.69	16.56
P-705	2	0.24	5.76
P-706	2	0.17	4.08
P-801	2	0.1	2.4
P-802	2	0.078	1.872
P-803	2	0.02	0.48
P-804	2	0.04	0.96
MX-801/2	2	6.8	163.2
FV-801	1	0.48	11.52
BE-801	1	5.8	139.2
TO-801	1	0.15	3.6
TR-1101/4	4	120	2880
CH-1101/2	2	242	5808
OI-1101	1	11.2	268.8
CM-1101	1	37	888
<b>Total</b>		<b>781.83</b>	<b>18754.8</b>

Una vez se ha determinado el consumo de los equipos principales de planta, se debe tener en cuenta el consumo de instrumentación, equipos relacionados con el control del proceso, consumo de instalaciones auxiliares como oficinas, laboratorio e iluminación de la planta. Estos gastos se han estimado como un 30 % del consumo eléctrico de los equipos presentados en la **tabla 1.4.19**.

Por tanto, la potencia total de la planta se estima en 1016.4 KW·h, teniendo un consumo eléctrico de 24381.24 KW·h al día, se ha considerado que los equipos funcionan las 24 horas del día, en aquellos casos como bombas y soplantes en los que por seguridad se han doblado, únicamente se ha considerado el consumo de un equipo, ya que, en operación normal no trabajarán los dos a la vez.

Debido a que la conexión que hay en la parcela tiene una tensión de 20 KV, es necesario un transformador eléctrico para dar suministro a la planta. En este caso se ha recurrido a la empresa Ormazabal, especialistas en transformadores. En la **tabla 1.4.20** se muestran algunas de las especificaciones de el modelo escogido:

**Tabla 1.4.20.** Especificaciones del transformador eléctrico.

<b>Equipo</b>	Transformador 24kV
<b>Proveedor</b>	Ormazabal
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	1940/ 1180/ 1540
<b>Tensión primaria (kV)</b>	20
<b>Potencia asignada (kVA)</b>	1600
<b>Carga del equipo (%)</b>	79.4
<b>Peso (kg)</b>	4120

Además del transformador necesario para operar en condiciones normales, se cuenta con un generador eléctrico para poder mantener la producción en el supuesto de sufrir un corte eléctrico.

Para el suministro en esta situación se ha optado por un grupo electrógeno de la marca PRAMAC, se trata de un modelo con motor diésel, refrigerado con agua y con un sistema de arranque eléctrico, serán necesarios dos sistemas electrógenos para poder dar suministro a toda la planta en situación de corte del suministro de la red. En la **tabla 1.4.21** se muestran las especificaciones del equipo escogido:

**Tabla 1.4.21.** Especificaciones grupo electrógeno.

<b>Equipo</b>	Grupo electrógeno GSW815P
<b>Proveedor</b>	PRAMAC
<b>Largo/ Ancho/ Alto (mm)</b>	4330/ 1900/ 2280
<b>Potencia por generador (kW)</b>	651
<b>Potencia necesaria total (kW)</b>	1016.4
<b>Potencia máxima total (kW)</b>	1302
<b>Carga del equipo (%)</b>	78
<b>Peso (kg)</b>	6400 kg

#### 1.4.10. Gas natural

El gas natural es necesario para dar suministro a las calderas para poder producir vapor. En la **tabla 1.4.22** se muestra las calderas que funcionan con gas natural y el consumo que tiene cada una de ellas para cuantificar el total.

**Tabla 1.4.22.** Consumo de gas natural.

<b>Caldera</b>	<b>Consumo (Nm<sup>3</sup>/h)</b>
CD-1101	78.32
CD-1102	78.32
CD-1103	1073.7
CD-1104	1073.7
<b>Total</b>	2304

En total, en la planta se consumirán 2409.2 Nm<sup>3</sup>/h de gas natural.

### 1.5. Balance de materia

En este apartado se presenta el balance de materia que se ha realizado de toda la planta de producción. La información que se presenta son las condiciones de temperatura y presión, la fracción de vapor, caudal volumétrico y másico y por último las fracciones másica de cada compuesto que este presente en el corriente.

El diagrama presentado en la **figura 1.5.1** es el diagrama de proceso, este diagrama ha sido el que se ha utilizado para realizar el apartado **1.2.1. Proceso de producción de Monoclorobenceno.** En este se muestran los equipos principales de la planta y se identifican los corrientes que posteriormente se definen en las **tablas 1.5.1-1.5.4.**

# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

## Capítulo 1 – Especificaciones del proyecto

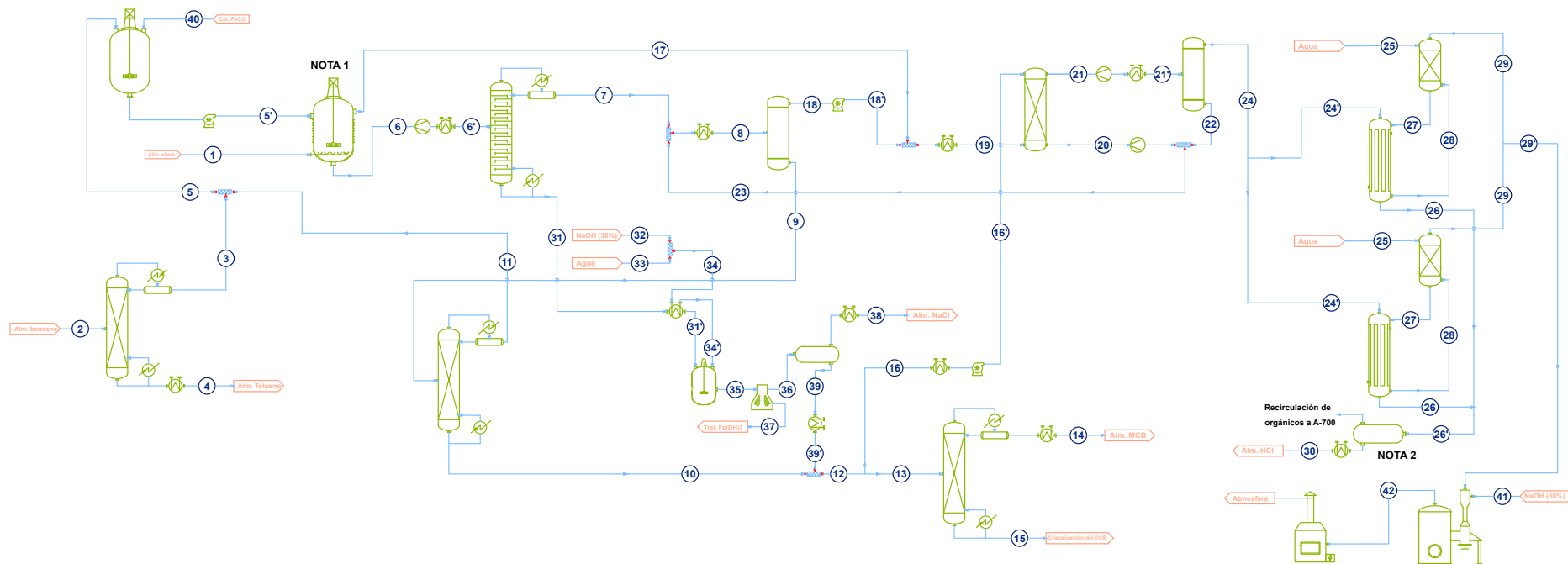


Figura 1.5.1. Diagrama de proceso.

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

### Capítulo 1 – Especificaciones del proyecto

**Tabla 1.5.1.** Información corrientes balance de materia.

Corriente	1	2	3	4	5	5'	6	6'	7	8	9	10	11	12	13	14
Temperatura (°C)	55.00	15.00	80.17	26.00	56.14	56.14	55.00	80.00	22.48	65.00	65.00	131.40	44.28	131.30	131.30	26.00
Presión (atm)	2.77	1.00	1.00	1.00	1.00	2.37	2.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fracción vapor	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C. másico (Kg/h)	6027	6484	6290	194	20021	20213	22208	22208	21366	26438	25979	12248	13731	12909	9036	8363
C. volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	826.30	7.35	7.76	0.22	22.70	22.77	23.80	23.80	22.33	252.40	28.07	12.49	16.12	13.06	9.14	7.64
Fracción másica																
Benceno	0.000	0.970	1.000	0.003	0.997	0.987	0.576	0.576	0.598	0.528	0.528	0.004	0.996	0.004	0.003	0.003
Tolueno	0.000	0.030	0.000	0.997	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cloro	1.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
MCB	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.377	0.377	0.392	0.452	0.458	0.971	0.000	0.921	0.922	0.997
DCB	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.030	0.001	0.012	0.012	0.025	0.000	0.075	0.075	trace
HCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.007	0.007	0.008	0.007	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
FeCl <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaOH	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agua	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

### Capítulo 1 – Especificaciones del proyecto

**Tabla 1.5.2.** Información corrientes balance de materia

Corriente	15	16	16'	17	18	18'	19	20	21	21'	22	23	24	24'	25	26
Temperatura (°C)	173.80	131.10	55.00	55.00	65.00	119.90	38.00	53.21	65.39	25.00	25.00	49.88	25.00	25.00	25.00	51.00
Presión (atm)	1.00	1.00	2.37	2.37	1.00	2.37	2.37	2.37	2.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fracción vapor	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.00	1.00	0.97	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00
C. másico (Kg/h)	673	3873	3873	4031	460	460	4491	4780	3583	3583	288	5068	3298	1649	3267	4805
C. volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	0.61	3.92	3.60	1074.0	224.30	110.10	1011.0	4.72	1047.0	2119.0	0.26	4.94	2120.0	1060.0	3.28	4.16
Fracción másica																
Benceno	0.000	0.004	0.004	0.232	0.550	0.550	0.265	0.244	0.008	0.008	0.019	0.231	0.008	0.008	0.000	0.000
Tolueno	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cloro	0.000	0.000	0.000	0.011	0.017	0.017	0.011	0.001	0.013	0.000	0.001	0.000	0.014	0.014	0.000	0.000
MCB	0.003	0.921	0.921	0.024	0.083	0.083	0.030	0.688	0.118	0.951	0.703	0.971	0.045	0.045	0.000	0.000
DCB	0.997	0.075	0.075	0.000	0.000	0.000	trace	0.059	0.002	0.023	0.057	0.025	trace	trace	0.000	0.000
HCl	0.000	0.000	0.000	0.733	0.350	0.350	0.694	0.008	0.859	0.007	0.008	0.000	0.933	0.933	0.000	0.320
FeCl <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaOH	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agua	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.680





## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

### Capítulo 1 – Especificaciones del proyecto

**Tabla 1.5.3.** Información corrientes balance de materia

Corriente	26'	27	28	29	29'	30	31	31'	32	33	34	34'	35	36	37	38
Temperatura (°C)	51.00	51.38	51.00	51.00	51.00	26.00	183.90	60.00	25.00	25.00	30.00	52.77	60.00	60.00	60.00	26.00
Presión (atm)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fracción vapor	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C. másico (Kg/h)	9610	3439	283	110	220	9610	843	843	474	948	1422	1422	2275	2148	127	1488
C. volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	8.32	3.44	160.83	30.42	60.84	8.31	0.70	0.60	0.36	0.95	1.29	1.30	2.00	1.96	0.04	1.42
Fracción másica																
Benceno	0.000	0.000	0.044	0.112	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tolueno	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cloro	0.000	0.000	0.083	0.212	0.212	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MCB	0.000	0.000	0.264	0.674	0.674	0.000	trace	trace	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DCB	0.000	0.000	trace	0.003	0.003	0.000	0.772	0.772	0.000	0.000	0.000	0.000	0.291	0.308	0.000	0.000
HCl	0.320	0.050	0.609	0.000	0.000	0.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FeCl <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.228	0.228	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.000	1.000	0.000
NaCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.097	0.000	0.140
NaOH	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.100	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000
Agua	0.680	0.950	0.000	0.000	0.000	0.680	0.000	0.000	0.700	1.000	0.900	0.900	0.563	0.596	0.000	0.860



**Tabla 1.5.4.** Información corrientes balance de materia

Corriente	39	39'	40	41	42
Temperatura (°C)	60.00	130.00	25.00	25.00	30.00
Presión (atm)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fracción vapor	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
C. másico (Kg/h)	661	661	192	177	175
C. volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	0.53	0.57	0.07	0.15	43.32
Fracción másica					
Benceno	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150
Tolueno	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cloro	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MCB	0.001	0.001	0.000	0.000	0.846
DCB	0.999	0.999	0.000	0.000	0.004
HCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FeCl <sub>3</sub>	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaOH	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000
Agua	0.000	0.000	0.000	0.700	0.000

## 1.6. Proveedores

En este apartado se nombran aquellos proveedores que se han escogido para la compra de materias primeras y compuestos auxiliares como nitrógeno o hidróxido de sodio.

### 1.6.1. Benceno

La compra de benceno se realiza a la empresa REPSOL. Conocida empresa por sus estaciones de servicio de combustible, es una de las más potentes a nivel mundial en petróleo y gas pero además de estos sectores también da servicio en productos químicos y otros productos especializados. El benceno se comercializará mediante camiones cisternas de 30 toneladas. El precio total al que se comprará el benceno es de 590.4 euros por tonelada, incluyendo el precio de transporte en este.

### 1.6.2. Cloro

Para el suministro de cloro, se ha escogido a la empresa ERCROS, se trata de un grupo industrial formado por tres actividades principales y una de ellas está dedicada a derivados del cloro. Además esta empresa cuenta con siete centros de producción en el territorio catalán siendo esta una de las principales ventajas respecto a otras empresas. El suministro de cloro se realizará en camiones cisterna de 20 toneladas y el precio total al que se comprará este cloro es de 210 euros por tonelada, incluyendo el precio del transporte.

### 1.6.3. Cloruro férrico

El cloruro férrico utilizado en el proceso, se encuentra en su forma anhidra y se comercializa en forma sólida. En este caso no se ha encontrado ninguna empresa suministradora de este compuesto, en gran formato, en el territorio español por lo que se ha optado por hacer un sondeo en el mercado global. Su precio final es de 447 € por tonelada de producto, incluyendo el transporte.

### 1.6.4. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio utilizado en el proceso, se encuentra en disolución acuosa al 30 % en peso. La empresa que se ha escogido para realizar el suministro de este compuesto es Solvay empresa del sector químico que produce productos de múltiples especialidades, entre ellos la sosa cáustica. El suministro se realizará en camiones cisterna y no supondrá un gasto para la empresa, ya que, la salmuera que se obtiene en el proceso será entregada a esta empresa para que hagan uso en el proceso productivo de cloro mediante celdas electrolíticas. La instalación de celdas electrolíticas en la planta será una de las mejoras propuestas.

#### 1.6.5. Nitrógeno

El nitrógeno que se utiliza para realizar la inertización de los tanques de benceno, se comercializa como un gas licuado. La empresa que se ha escogido para realizar el suministro de este compuesto es Linde, empresa especializada en gases industriales con una gran importancia en el mercado global. El suministro se realizará en camiones cisterna criogénicos que realizarán suministro semanalmente.

## **1.6. Bibliografía**

**1.1. VIAempresa.** Localización de la planta, industria [en línea]. Consulta: 16 marzo 2017. Disponible:

<http://www.viaempresa.cat>

**1.2. El País.** Conexiones terrestres [en línea]. Consulta: 16 marzo 2017. Disponible:

[http://elpais.com/elpais/2011/12/02/actualidad/1322817433\\_850215.html](http://elpais.com/elpais/2011/12/02/actualidad/1322817433_850215.html)

**1.3. Puerto de Tarragona.** Conexiones marítimas [en línea]. Consulta: 16 marzo 2017.

Disponible: <http://www.porttarragona.es/puerto-comercial/>

**1.4. Aeropuerto de Barcelona.** Conexiones aéreas [en línea]. Consulta: 16 marzo 2017.

Disponible: <http://www.aeropuertobarcelona-elprat.com>

**1.5. Servei Meteorològic de Catalunya.** Climatología [en línea]. Consulta: 21 marzo 2017. Disponible:

<http://www.meteo.cat/>

**1.6. Revista d'Igualada.** Geología. Consulta: 21 marzo 2017 [en línea]. Disponible:

<https://www.revistaigualada.cat/mots/geologia/>

**1.7. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.** Sismología [en línea]. Consulta: 21 marzo 2017. Disponible:

<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Mapes-geofisics-i-sismics/Avaluacio-del-risc-sismic-a-Catalunya>

**1.8. RISKCAT.** Sismología. Consulta: 21 marzo 2017 [en línea]. Disponible:

[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el\\_risc\\_de\\_terratriums\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el_risc_de_terratriums_a_catalunya.pdf)

**1.9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.** Propiedades fisicoquímicas de los compuesto [en línea]. Consulta: 4 Abril 2017. Disponible:

<http://www.insht.es/portal/site/Insht/;VAPCOOKIE=3gWVZ98G1pSQTy0nk9dGqM71dP9D6hwGJTlk6TrBqn2DwLv7QpTT!-827581052!-899082011>

**1.10. United States Environmental Protection Agency (EPA).** Propiedades fisicoquímicas [en línea]. Consulta 6 Abril 2017. Disponible:

<https://www.epa.gov>

**1.11. Uwe Beck, Eckhard Löser.** *ULLMANN'S, Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. 8, 2012. Aplicaciones MCB. Consulta: 1 Mayo 2017.

**1.12. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,** Chlorinated Hydrocarbons. DOI: 10.1002/14356007.a06\_233.pub2. Aplicaciones MCB. Consulta: 1 Mayo 2017.

**1.13. Blog Scienceaholic,** 9 de marzo de 2014. Aplicaciones HCl [en línea]. Consulta: 5 Mayo 2017. Disponible:

<http://adictoaciencia.blogspot.com.es/2014/03/productos-quimicos-en-casa-la-lejia-el.html>

**1.14. ERCO Worldwide.** Aplicaciones HCl [en línea]. Consulta: 5 Mayo 2017.

Disponible: <http://www.ercoworldwide.com/index.php/products/hydrochloric-acid/?lang=es>

**1.15. Blog VADEQUÍMICA.** Aplicaciones HCl [en línea]. Consulta: 7 Mayo 2017. Disponible:

<https://www.vadequimica.com/blog/2015/03/acido-clorhidrico-salfuman/>

**1.16. España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social.** XVIII Convenio general de la industria química. Boletín Oficial del Estado, 19 de agosto de 2015, Núm. 198, Sección III, Pág. 75276- 75399.